

# 13. KAYNAK TEKNOLOJİSİ ULUSAL KONGRE VE SERGİSİ

17 - 18 KASIM 2023

ANKARA



ANFA ALTINPARK FUAR VE  
KONGRE MERKEZİ ALTINDAĞ / ANKARA



kaynakkongresi@mmo.org.tr



www.kaynakkongresi.org

## BİLDİRİLER KİTABI

TMMOB MMO ADINA DÜZENLEYEN  
MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI ANKARA ŞUBESİ



tmmob  
makina mühendisleri odası



/mmoankarasube

**KAYKON**  
KAYNAK TEKNOLOJİSİ  
13. Ulusal Kongre ve Sergisi

# 13. KAYNAK TEKNOLOJİSİ ULUSAL KONGRE VE SERGİSİ

## BİLDİRİLER KİTABI

17 - 18 Kasım 2023  
Ankara



**tmmob**  
**makina mühendisleri odası**

Meşrutiyet Caddesi No: 19 Kat: 6-7-8 Kızılay – Ankara  
Tel: 0312 425 21 41 - Faks: 0312 417 86 21  
e-posta: mmo@mmo.org.tr <http://www.mmo.org.tr>

**KAYNAK TEKNOLOJİSİ 13. ULUSAL KONGRE VE SERGİSİ BİLDİRİLER KİTABI**

MMO Yayın No: E/MMO/756

ISBN 978-605-01-1633-5

Bu kitabın yayın hakkı MMO'ya aittir. Kitabın hiçbir bölümü değiştirilemez, MMO'nun izni olmadan kitabın hiçbir bölümü elektronik, mekanik vb. yollarla kopya edilip kullanılamaz. Kaynak göstermek şartıyla alıntı yapılabilir.

Mart 2024 – Ankara

## KONGRE DÜZENLEME KURULU

ELİF ÖZTÜRK  
S. MELİH ŞAHİN  
ÖZGÜR HABİB TUŞTAŞ  
YILMAZ YILDIRIM  
MEHMET SERDAR ULU  
SEYİT ALİ KORKMAZ  
NİYAZİ KANTAR  
TÜLAY YENER  
NAZAN IRMAK  
EVRİN ÖZGÜR  
İZZET SEFERBEYOĞLU  
RAMAZAN ASLAN  
UTKU HATİPOĞLU  
EREN ŞAHİN  
ANIL UÇAR  
DİLAN DOĞAN  
HALİL MERT BULAN  
NEJAT KURT  
FİKRET ÇARAL  
PROF. DR. CEMAL MERAN  
AHMET BÜLENT TEKİK  
BİRCE ALTAY  
SERKAN TOMRİS  
HASAN ALİ ŞAHİN  
ELİF SOYVURAL  
İLKİN BOZ  
ZİYA MURAT ÖZTÜRK  
SERKAN DEMİR  
HAŞMET ÇAĞRI SEZGEN  
MEHMET ÇAKMAK  
DİLEK DENİZCİ  
SONER SİNOPLU

MERKEZ  
MERKEZ  
ADANA  
ANKARA ŞUBE  
ANKARA ŞUBE  
ANKARA ŞUBE  
ANKARA ŞUBE  
ANKARA ŞUBE  
ANKARA ŞUBE  
ANKARA ŞUBE  
ANKARA ŞUBE  
ANKARA ŞUBE  
ANKARA ŞUBE  
ANKARA ŞUBE  
ANKARA ŞUBE  
ANKARA ŞUBE  
ANKARA ŞUBE  
ANTALYA ŞUBE  
BURSA ŞUBE  
DENİZLİ ŞUBE  
DİYARBAKIR ŞUBE  
EDİRNE ŞUBE  
ESKİŞEHİR ŞUBE  
GAZİANTEP ŞUBE  
İSTANBUL ŞUBE  
İZMİR ŞUBE  
KAYSERİ ŞUBE  
KOCAELİ ŞUBE  
KONYA ŞUBE  
MERSİN ŞUBE  
TRABZON ŞUBE  
ZONGULDAK ŞUBE

## KONGRE YÜRÜTME KURULU

S. MELİH ŞAHİN  
FİKRET ÇARAL  
DR. ERSAN GÖNÜL  
İ. ÖZGÜR AKÇAM  
MURAT GÜRLEYİK  
DR. CANER BATIGÜN  
ÇAĞRI ÇELİK  
NUR ECE ŞAMİLOĞLU



## KONGRE BİLİM KURULU

PROF.DR.SELAHATTIN ANIK  
ÖZGÜR CAN AKYÜZ  
SERDAR AKYÜZ  
MURAT ASLAN  
PROF DR. FEVZİ BEDİR  
MESUT BİÇEN  
MELİKE MİHRAN CAVCAR  
DOÇ. DR. AFŞİN ALPER CERİT  
PROF. DR. VURAL CEYHUN  
PROF. DR.GÜREL ÇAM  
PROF. DR. YILMAZ ÇAN  
PROF. DR. HAMDULLAH ÇUVALCI  
DR KAMİL.DELİKANLI  
DOÇ DR MURAT DİLMEC  
CESİM DURUK  
DOÇ DR SEÇİL EKŞİ  
YRD DOÇ DR İBRAHİM ERTÜRK  
ÖĞR GÖR ZAFER FILİZ  
HÜSEYİN GAZNEPOĞLU  
DOÇ. DR. EYYUP GERÇEKÇİOĞLU  
PROF. DR. C. HAKAN GÜR  
DR. FATİH GÜVEN  
PROF. DR. ERDİNÇ KALUÇ  
SAİT KARAKUŞ  
ÖZLEM KARAMAN  
PROF. DR. FATİH KARPAT  
PROF. DR. EROL KILIÇKAP  
HAKAN KOÇAK  
DR. EMİNE FİSUN MÜFTÜOĞLU  
HASAN MUFTÜOĞLU  
DOÇ. DR. FEHMİ NAİR  
PROF. DR. HÜSEYİN ÖZDEN  
DR. KAAN ÖZEL  
PROF. DR. MURAT PAKDİL  
PROF. DR. HİKMET RENDE  
HAKAN SİTEMBÖLÜKBAŞI  
PROF. DR. TEZCAN ŞEKERCİOĞLU  
DOÇ. DR. ŞULE YILDIZ ŞİRİN  
PROF. DR. EMEL TABAN  
MURAT TAŞOCAK  
DR. SÜHA TİRKEŞ  
PROF. DR. MUSTAFA ULUTAN  
SERKAN ÜNAL  
ALİ OKAN ÜNYAZICI  
DOÇ. DR. CELAETTİN YÜCE

## KONGRE SEKRETERYASI

M. SEZER ŞENGÜN  
CEREN BEKDEMİR

# İÇİNDEKİLER

SUNUŞ	1
ARK KAYNAKLI İMALATLARDA VERİ YÖNETİMİ VE VERİ YÖNETİM SİSTEMLERİNİN ÖNEMİ	2
KAYNAKLI İMALATTA DİJİTALLEŞME, ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARI VE İZLENEBİLİRLİK	9
KAYNAK SEKTÖRÜNDE VERİ YÖNETİMİ VE ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ	14
KAYNAKTA İZLENEBİLİRLİK ÇÖZÜMLERİ	22
KAYNAK MAKİNELERİNDE KALİBRASYON	31
PUNTA DİRENÇ KAYNAĞI PARAMETRE İZLENEBİLİRLİK SİSTEMİ	51
ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİ İLE KAYNAKLI İMALAT VE KAYNAK SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM	63
OTOMOTİVDE NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI OPTİMİZASYONUNUN VERİMLİLİK KONUSUNDA ÖNEMİ	70
PUNTA KAYNAK ÇAPAK SIÇRAMALARININ İLERİ ROBOTİK UYGULAMA İLE REVİZYONU	82
NDT GÜNLERİ	89
ISI DEĞİŞTİRİCİ VE BUHAR JENERATÖR BORULARININ GİRDAP AKIMLARI TESTİ (İÇ KISIMDAN BORU TESTİ), PROPLAR VE İLGİLİ STANDARTLAR	109
KAYNAKLARIN DİJİTAL RADYOGRAFİSİ	128
İŞLETME AŞAMASI KONTROLLERDE TAHRİBATSIZ MUAYENE UYGULAMALARI VE PERSONELİN ÖNEMİ	135
TS EN ISO 9712 STANDARDINA GÖRE TAHRİBATSIZ MUAYENE PERSONELİNİN BELGELENDİRİLMESİNDE STANDARDIN 2022 REVİZYONU İLE BİRLİKTE ADAYLAR İÇİN UYGULAMADA ORTAYA ÇIKAN YENİLİKLER	147
TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİNDE ÖZLÜ TEL ELEKTROD KULLANIMI VE HER İKİ TARAFTA TEK PASOLU (TWO – RUN) KAYNAK YÖNTEMİ	157
YEDEK PARÇA EGZOZ ÜRETİM PROBLEMLERİNE YÖNELİK ROBOTİK KAYNAK SİSTEM ÇÖZÜMÜ	170
HİDROJEN KARIŞIMLI DOĞAL GAZ İLETİM HATTINDA KULLANILACAK BORU ÜRETİMİNDE (SOUR SERVICE) API 5L X65MS PSL2 ÇELİK KALİTESİ İÇİN TAMİR KAYNAĞI TESTLERİNİN İNCELENMESİ	185
KAYNAKLI ÇELİK YAPILARIN 6 ŞUBAT DEPREMİNDE GENEL PERFORMANSI	195
DEPREMİN ÇELİK YAPILAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ VE 6 ŞUBAT 2023 DEPREMİ SONRASI YAPILAN HASAR TESPİT ÇALIŞMALARI	208
ÇELİK TAŞIYICILI ÜST YAPI VE ALTYAPILARDA GELİŞEN KAYNAK TEKNOLOJİLERİ VE YORULMA ETKİSİNE KARŞI GÜVENİRLİK	219
ÇELİK BORULARIN ÇEVRESEL KAYNAĞI	227
LAZER KAYNAKLI RADYATÖR TASLAK TASARIMLARI	241
ÇELİK KONSTRÜKSİYON BİRLEŞİM YERLERİNİN KAYNAKLI BAĞLANTI TASARIM OPTİMİZASYONLARININ ANALİZİ VE İNCELENMESİ	248
LAZER KAYNAĞI İLE METAL MALZEMELERİN BİRLEŞTİRİLMESİ ÜZERİNE NÜMERİK BİR İNCELEME	259
DOĞRUDAN YÜK-TAŞIMAYAN KAYNAKLI BAĞLANTILARDA KAYNAK NÜFUZİYETİNİN YORULMA DAYANIMINA ETKİSİ	267
ATIMLI FORM PARAMETRESİNİN LAZER KAYNAK DİKİŞLERİNE OLAN ETKİLERİN ARAŞTIRILMASI	277

ARK KAYNAK YÖNTEMLERİ İLE BİRLEŞTİRİLEN X1CRNiMOCUN20-18-7(SMO254) PASLANMAZ ÇELİĞİN ÖZELLİKLERİ	284
GAZ TUNGSTEN ARK KAYNAKLI 316L-SAF 2205 PASLANMAZ ÇELİK BAĞLANTININ İÇYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE İLAVE TEL ETKİSİNİN BELİRLENMESİ	298
FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SOĞUK METAL ARK TRANSFER KAYNAĞINDA PROSES PARAMETRELERİNİN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ	317
SAF BAKIR PLAKALARIN KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ	325
MALZEMELERDE İÇYAPININ ÖNEMİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN İÇYAPIYA GÖRE TAHMİN EDİLMESİ	339
TIG KAYNAĞINDA OTOMATİK TEL BESLEME YÖNTEMLERİNİN TİTANYUM ALAŞIMLARINDAKİ UYGULANABİLİRLİĞİ VE AVANTAJLARININ İNCELENMESİ	352
KAYNAK ÇALIŞANLARININ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	362
KAYNAK OPERASYONLARINDA MAKİNELEŞMENİN İSG AÇISINDAN YARATTIĞI RİSK VE FIRSATLAR	374
KAYNAK İŞÇİSİNİN AKCİĞERİNİ KORUMAK	381
KAYNAK SIRASINDA OLUŞAN GAZ, DUMAN VE TOZLARIN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ VE ÖNERİLEN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ TEDBİRLERİ	385
PROSES BAZLI RİSK DEĞERLENDİRMESİ İLE KAYNAK ATÖLYESİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN İYİLEŞTİRMELER	393
KAYNAK SIRASINDA OLUŞAN GÜRÜLTÜ MARUZİYETİNİN ETKİLERİ VE ALINMASI GEREKEN TEDBİRLER	401
POLİMER MATRİKS KOMPOZİT FİLAMENT ÜRETİMİ VE KATMANLI İMALAT UYGULAMALARI	408
DEKANTÖR SANTRİFÜJ HELEZONU KANATLARININ AŞINMA DİRENCİNİN KAPLAMA İLE İYİLEŞTİRİLMESİ	422
ELEKTRON ERGİTME YÖNTEMİYLE Ti6AL4V PARÇALARIN ÜRETİMİ	433

## SUNUŞ

TMMOB Makina Mühendisleri Odası her çalışma döneminde olduğu gibi 49. dönemde de üyelerinin uzmanlık ve çalışma alanlarına yönelik çok sayıda kongre, kurultay, sempozyum etkinliği düzenlemiştir. Bu etkinliklerle, bilgiyi üreten, bilgiye ihtiyaç duyan, kullanan ve geliştirilmesine yardımcı olan tarafların aynı platformda buluşmasını ve meslektaşlarımız ile ilgili sektörlerle katkıda bulunmayı amaçlıyoruz. Bu çerçevede düzenlenen ve kurumsallaşan etkinliklerden biri de; ilki 1997 yılında gerçekleştirilen ve bu yıl Ankara Şube sekretaryalığında düzenlenen “Kaynak Teknolojisi XIII. Ulusal Kongre ve Sergisi”dir. İki gün süren kongre için; “Ülkemizde ve Dünyada Kaynaklı İmalat Sektörünün Sorunları ve Sektörün Gelişimi,” “Kaynaklı İmalatta Kalite Kontrol Faaliyetleri,” “Kaynaklı İmalatta Enerji ve Maliyet Kontrolü” ve “Kaynaklı İmalatta İSG’nin Yeri ve Önemi” başlıklı beş ana tema belirlenmiştir.

Kongrede, 10 ayrı oturumda 37 bildiri sunulmuş, ayrıca çok sayıda sektör temsilcisi firmanın katılımıyla bir sergi düzenlenmiştir.

TMMOB Makina Mühendisleri Odası adına Ankara Şube yürütücülüğünde gerçekleştirilen Kongremizin düzenlenmesinde emeği geçen Düzenleme, Bilim, Yürütme Kurulu üyelerine, bildiri sunan konuşmacılara, sergiye katılarak ve Bildiriler Kitabına ilan vererek katkı sağlayan değerli firmalara, destek veren kurum, kuruluş ve kişilere, tüm katılımcılara, Ankara Şubemizin Yönetim Kurulu üyelerine, Kongre Sekreteri ile Şube çalışanlarına teşekkür ederiz.

Kongre Bildiriler Kitabının üyelerimize, ilgili akademisyenlere, sanayicilere, kurum ve kuruluşlara araştırma ve çalışmalarında yararlı olmasını dileriz.

**TMMOB Makina Mühendisleri Odası**

**Yönetim Kurulu**

Kasım 2024





# ARK KAYNAKLI İMALATLARDA VERİ YÖNETİMİ VE VERİ YÖNETİM SİSTEMLERİNİN ÖNEMİ

*Erdem DAVULCU*

*Fronius İstanbul, Tuzla, 34953, İstanbul davulcu.erdem@fronius.com,*

*erdemdavulcu@gmail.com*

## ÖZET

Günümüzde veri yönetimi başta ark kaynağı yöntemlerinde olmak üzere tüm kaynak yöntemlerinde sistemlerin endüstri 4.0 uyumu bağlamında çok önemli yer tutmaktadır. Veri yönetimi sistemleri, kaynaklı imalat işletmelerine tüm verilerini depolamak, analiz etmek ve kullanmak için etkili bir yol sağlar. İşletmelerin üretimi izlemesine ve izlemesine, olası sorunları tespit etmesine ve üretim verimliliğinin nasıl artırılacağı konusunda bilinçli kararlar almasına olanak tanır. Veri yönetimi sistemleri ayrıca, alınan kararların en güncel ve doğru bilgilere dayanmasını sağlayarak verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmaya da yardımcı olabilir. Kaynaklı imalat işletmeleri, etkili veri yönetimi sistemlerini uygulayarak üretim verimliliğini artırabilir, maliyetleri azaltabilir ve verilerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırabilir.

**Anahtar sözcükler:** Kaynakta veri yönetimi, verimlilik, kaynaklı imalat

## ABSTRACT

Today, data management has a very important place in the context of industry 4.0 compliance of systems in all welding methods, especially arc welding methods. Data management systems provide welding manufacturing businesses with an effective way to store, analyze and use all their data. It allows businesses to track and monitor production, detect potential problems and make informed decisions on how to improve production efficiency. Data management systems can also help increase the accuracy and reliability of data by ensuring that decisions made are based on the most current and accurate information. By implementing effective data management systems, welding manufacturing businesses can increase production efficiency, reduce costs, and increase the accuracy and reliability of their data.

**Key words:** Weld data management, efficacy, productivity, welded manufacturing

## 1. GİRİŞ

Kaynak verileri yönetimi, modern kaynak operasyonlarının önemli bir unsurudur. Kaynak prosesleri ve parametreleriyle ilgili bilgilerin toplanmasını, analiz edilmesini ve saklanmasını içerir. Etkin veri yönetimi, şirketlerin kaynak operasyonlarını izlemesine ve kontrol etmesine olanak tanıyarak kalitenin, üretkenliğin ve maliyet etkinliğinin artmasına yol açar.

## 2. KAYNAK PARAMETRELERİ

Kaynak parametreleri, kaynak işleminin kalitesini ve verimliliğini belirlemede çok önemli bir rol oynar. Kaynak ayarları, akım, voltaj, kaynak hızı ve elektrot açısı gibi faktörleri ayarlayarak ısı girdisini, nüfuz derinliğini ve kaynak bağlantısının genel gücünü kontrol edebilir. Kaynağın gerekli spesifikasyonları ve standartları karşıladığından emin olmak için bu parametrelerin dikkatlice seçilmesi ve optimize edilmesi gerekir. Kaynak dikişi şekli ve mekanik güvenilirlik açısından, kaynak bağlantı kalitesinin tanımlanmasında kaynak işlemi faktörleri de çok önemlidir. Kaynak dikişinin görünümünü, gözeneklilik veya çatlaklar gibi kaynak kusurlarının oluşumunu ve kaynaklı bağlantının genel mekanik özelliklerini etkileyebilirler.

Kaynak akımı, ark gerilimi, tel/elektrod boyutu, ark ilerleme hızı ve elektrot çıkıntısı/serbest tel boyu ve koruyucu gaz içeriği/hızı gibi farklı parametrelerin tamamının, istenen kaynak kalitesini elde etmek için dikkatle dikkate alınması ve ayarlanması gerekir.

Bu parametreler, sertlik, çekme mukavemeti ve yorulma mukavemeti dahil olmak üzere kaynak bağlantısının mekanik özelliklerini optimize etmek için ayarlanabilir. Kaynakçılar, kaynak parametreleri ile kaynak kalitesi arasındaki ilişkiyi anlayarak güçlü, güvenilir kaynak bağlantıları oluşturmak için bilinçli kararlar alabilirler.

## 3. KAYNAKTA PARAMETRE KONTROLÜ

Kaynak dünyasında hassasiyet ve doğruluk büyük önem taşımaktadır. Yüksek kaliteli kaynaklar elde etmek için çeşitli kaynak parametreleri üzerinde uygun kontrole sahip olmak gerekir. Bu yazıda parametre kontrolünün kaynak sistemleri için neden önemli olduğunu ve bunun nihai kaynak kalitesini doğrudan nasıl etkilediğini inceleyeceğiz.

Başlangıç olarak kaynak parametre kontrolü, kaynaklı bağlantının bütünlüğünü ve gücünü doğrudan etkilediği için ana seviyede hayati öneme sahiptir. İstenilen kaynak özelliklerini elde etmek için akım, voltaj, ilerleme hızı ve ısı girişi gibi kaynak parametreleri dikkatlice kontrol edilmelidir. Belirtilen parametrelerden sapmalar, gözeneklilik, çatlaklar veya yetersiz erime gibi kusurlara yol açarak bağlantının yapısal bütünlüğünü tehlikeye atabilir. Ana seviyede, kaynaklı bileşenlerin karmaşıklığı ve boyutu arttıkça hassasiyet daha da kritik hale gelir. Kaynak parametrelerinin doğru kontrolü, kaynakların mukavemet, süneklik ve yorulma direnci açısından gerekli standartları karşılamasını sağlar.

### **3.1. Optimum Kaynak Kalitesine Ulaşmak**

Kaynak söz konusu olduğunda nihai amaç, endüstri standartlarını karşılayan veya aşan kaynaklar üretmektir. Kaynakçılar, voltaj, akım, kablo hızı ve koruyucu gaz akışı gibi parametreleri dikkatli bir şekilde kontrol ederek optimum kaynak kalitesine ulaşabilirler. Bu parametreler uygun şekilde kontrol edilmediğinde ortaya çıkan kaynaklarda gözeneklilik, erime eksikliği veya aşırı sıçrama gibi kusurlar görülebilir.

### **3.2. Kaynak Proseslerinde Tutarlılık**

Parametre kontrolü kaynak proseslerinde tutarlı sonuçlar sağlar. Kaynakçılar, kaynak parametreleri üzerinde hassas kontrol sağlayarak istenilen kaynak özelliklerini defalarca üretebilirler. Bu, özellikle otomotiv veya havacılık üretimi gibi yüksek düzeyde tekdüzelik ve güvenilirlik gerektiren endüstrilerde çok önemlidir. Kaynak süreçlerinde tutarlılık yalnızca zamandan tasarruf sağlamakla kalmaz, aynı zamanda kusur ve yeniden işleme olasılığını da azaltır.

### **3.3. Gelişmiş Verimlilik ve Üretkenlik**

Etkin parametre kontrolü, kaynak operasyonlarındaki üretkenliği önemli ölçüde artırabilir. Kaynakçılar, parametreleri doğru ayarlayarak daha yüksek kaynak hızlarına, daha az arıza süresine ve daha yüksek birikme oranlarına ulaşabilirler. Bu yalnızca zamandan tasarruf etmekle kalmaz, aynı zamanda işçilik ve malzemeyle ilgili maliyetleri de azaltır. Ayrıca, uygun parametre kontrolü, kaynak sonrası muayene ve yeniden işleme ihtiyacını en aza indirerek üretkenliği daha da artırır.

### **3.4. Kaynak Hatalarının En Aza İndirilmesi**

Eğilme veya büzülme gibi kaynak distorsiyonları kaynakta sık karşılaşılan zorluklardır. Ancak uygun parametre kontrolü bu bozulmaların en aza indirilmesine yardımcı olabilir. Kaynakçılar, doğru kaynak parametrelerini seçerek distorsiyonların azaltılmasında hayati bir rol oynayan ısı girişini kontrol edebilir. Bu, özellikle bükülmeye eğilimli ince veya hassas malzemelerle çalışırken çok önemlidir.

## **4. KAYNAKTA VERİ YÖNETİMİ**

Kaynak verileri yönetimi, kaynak işlemleri ve sonuçlarıyla ilgili bilgilerin toplanmasını ve organize edilmesini içerir. Buna kaynak sarf malzemeleri, kaynak prosedürleri, muayene raporları ve kaynakçı nitelikleri hakkındaki veriler dahildir. Etkili kaynak verileri yönetimi, ayarcıların farklı kaynak parametrelerinin performansını analiz etmesine ve proses optimizasyonu konusunda bilinçli kararlar almasına yardımcı olur. Ayrıca belirli standartlara ve düzenlemelere uyum gerektiren endüstriler için hayati önem taşıyan izlenebilirliği de sağlar.



Kaynak veri yönetimi sistemleri, sürekli iyileştirme için kullanılabilir kaynak operasyonlarına ilişkin değerli bilgiler sağlar. Uzmanlar, geçmiş kaynak verilerini analiz ederek eğilimleri, modelleri ve optimizasyon için potansiyel alanları belirleyebilir. Bu analiz, yeni kaynak prosedürlerinin geliştirilmesine, parametrelerin ayarlanmasına veya ileri kaynak tekniklerinin benimsenmesine yol açabilir. Sonuç olarak, uygun kaynak verileri yönetimi proses verimliliğini artırır, israfı en aza indirerek maliyetleri azaltır ve mümkün olan en iyi kaynak kalitesini sağlar.

Ayrıca kaynak verileri yönetimi, kalite kontrol ve dokümantasyon amaçları açısından çok önemlidir. Nükleer, havacılık veya savunma gibi sıkı düzenlemelere tabi endüstrilerde doğru ve ayrıntılı kaynak kayıtlarının tutulması çok önemlidir. Kaynak veri yönetimi sistemleri kaynak parametrelerinin, operatör niteliklerinin, denetimlerin ve test sonuçlarının belgelenmesini kolaylaştırır. Bu, uyumluluk gereksinimlerinin karşılanmasına ve endüstri standartlarına uygunluğun kanıtının sağlanmasına yardımcı olur. Kapsamlı kaynak verilerine kolay erişim şeffaflığı sağlar, etkili denetim sağlar ve sertifikasyon sürecini basitleştirir.

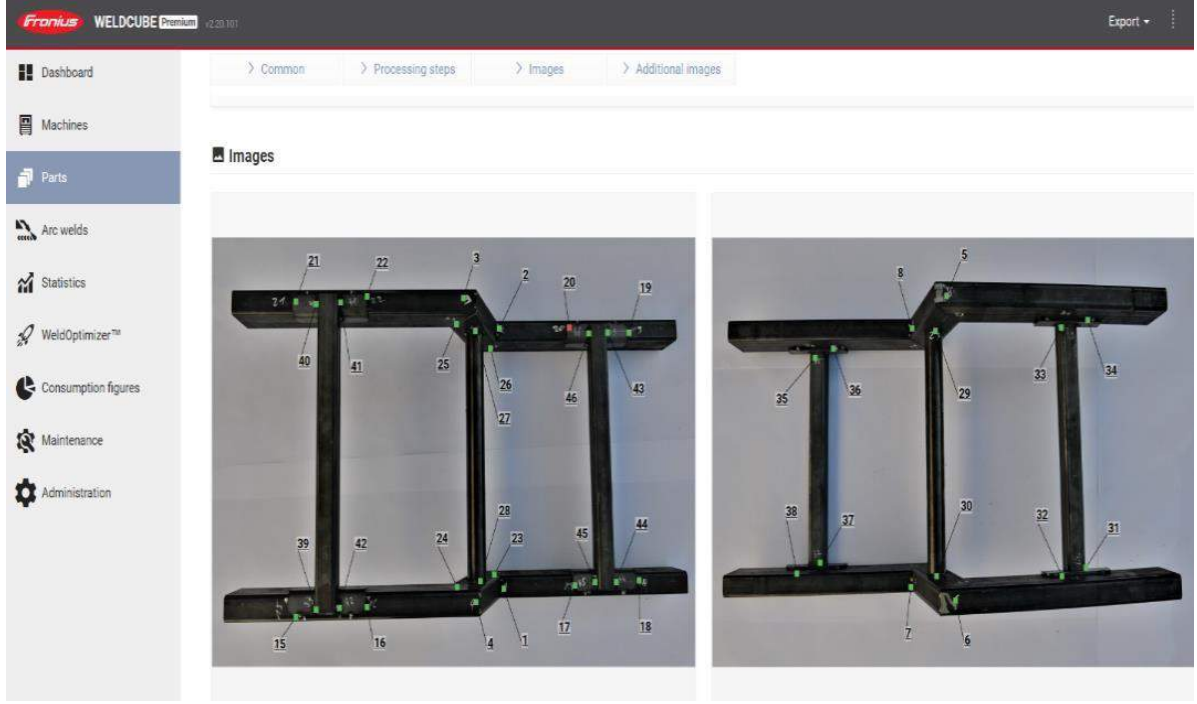
Kaynak veri yönetimi uygulamaları ile sayfa örnekleri:

- Çıktı hatalarının istatistiksel gösterimleri, olası hataların görsel olarak elde edilebilir.



### Şekil 1. Hata sayısı analizleri

- Raporları geliştirmek ve sistemlerdeki yönlendirmeleri kolaylaştırmak için parça resimleri ile görselleri zenginleştirmeye yardımcı olur.



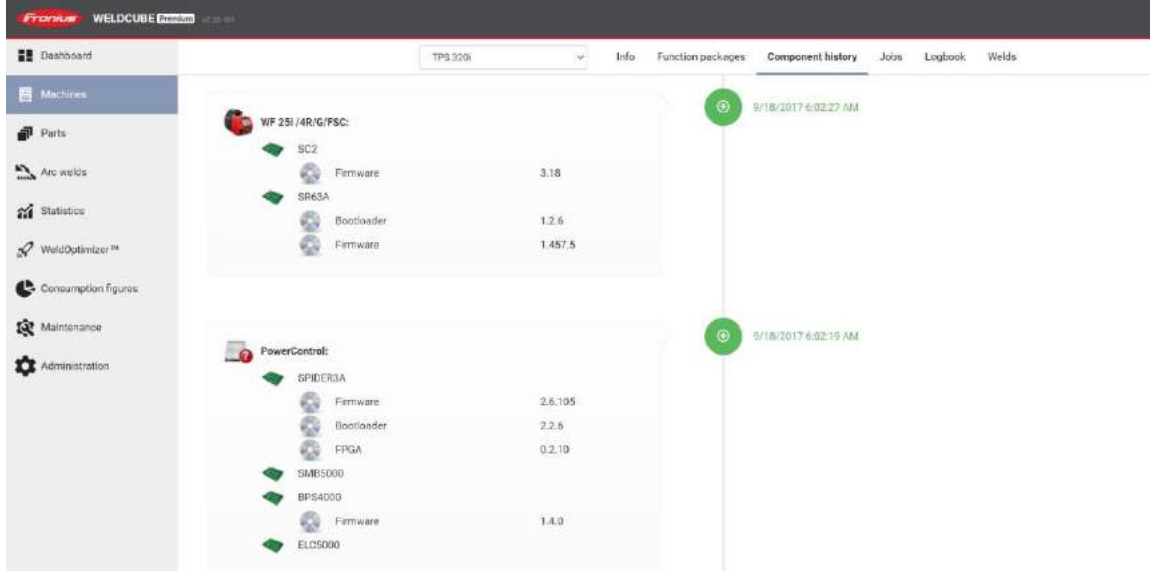
**Şekil 2. Parça resmi kaynak noktaları görselleri**

- Makine durumlarına veya örneğin parametre değişikliklerinde değiştirilen parametrenin değişen renk kodlamaları ile genel bir bakış sağlar.
- Kaynakta kullanılan kaynak parametrelerinin yönetimi; oluşturulması kopyalanması düzenlenmesi ve silinmesine, yapılan değişikliklerin kontrolüne ve sınır değerler atanmasına yardımcı olur.

Parameter	Step 1	Step 2	Step 3	Step 4	Step 5	Step 6
Lower arc length correction limit	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Trigger mode	S2-step	S2-step	S2-step	S2-step	S2-step	S2-step
Wire Feed Speed	295 ipm	253 ipm	280 ipm	236 ipm	236 ipm	236 ipm
Current	200 A	194 A	192 A	168 A	168 A	168 A
Voltage	24.0 V	23.9 V	23.9 V	23.5 V	23.5 V	23.5 V
Material Thickness	0.236 inch	0.224 inch	0.220 inch	0.185 inch	0.185 inch	0.185 inch
Arc length correction	-1.0	0.0	0.0	-2.0	-2.0	-2.0
Pulse/dynamic correction	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Weld-Start/ Weld-End						
Starting current	80 %	80 %	80 %	80 %	80 %	80 %
Start Arc length correction	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0

**Şekil 3. Parametre değişiklikleri renklendirmesi**

- Sistem ekipmanlarının durumu ve sürümlerinin son durumuna, yedeklenmesine, geçmiş kayıtlarına, kullanılan cihazların kullanım yerlerine gözlemlenmesine yardımcı olur.



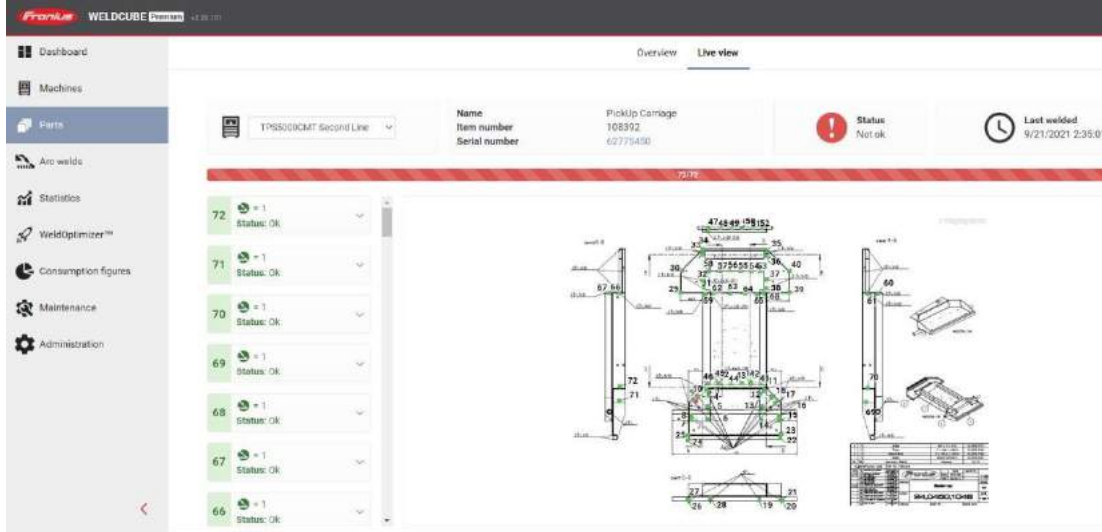
**Şekil 4. Sistem ekipmanlarının sürümünü ve son durumunu görüntüleme**

- Kaynak verilerinin dokümantasyonu ile alakalı olarak her bir kaynak dikişinin akım voltaj ve tel beleme hızının gerçek değerleri görülebilir ve bu dikişlerin gaz, tel ve enerji gibi tüketim verilerinin gerçek değerlerinin gözlemlenmesine yardımcı olur. Bunları da farklı diyagramlar ve renk kodları ile sağlayabilirsiniz.



**Şekil 5. Kaynak dikişlerinin tel, gaz ve tüketim verileri**

- Parça seviyesinde tek tek parça dikişlerinin tanımlanması, her bir dikiş için tüketim, kalite ve hata analizleri yaparak, şeffaflık ve izlenebilirlik sağlanabilir.



Şekil 6. Parça seviyesinde tek tek kaynak noktalarının tanımlanması

## 5. SONUÇ

Sonuç olarak, kaynak parametre kontrolü ve kaynak verileri yönetimi, optimum kaynak kalitesi, tutarlılık ve endüstri standartlarıyla uyumluluğa ulaşmak için ana düzeyde önemli bir rol oynamaktadır. Kaynak ayarları, kaynak parametreleri üzerinde hassas kontrol sağlayarak karmaşık uygulamalarda bile güçlü ve güvenilir kaynaklar üretebilirler. Etkili kaynak veri yönetimi sistemleri analize, süreç optimizasyonuna ve belgelemeye olanak tanıyarak sürekli iyileştirmeye ve gelişmiş kalite kontrolüne yol açar. İleri seviyede başarılı olmak için kaynak profesyonellerinin bu hususlara öncelik vermesi ve bunların kaynak operasyonlarında uygulanmasını sağlaması gerekir.

## 6. KAYNAKÇA

[1] <https://www.fronius.com/> & <https://weldcube-demo.fronius.com/>

[2] Yıldız, C. & Karadeniz, E. (2003). MAG Kaynağında Nüfuziyeti Etkileyen Kaynak Parametrelerinin İncelenmesi . Sakarya University Journal of Science , 7 (3) , 110-118 .

[3] Posch, G. & Bruckner, J. (2017). Schweißtechnik im Zeichen von Internet of Things und Industrie 4.0. Schweiss- und Prüftechnik. 70. 112-121.

## ÖZGEÇMİŞ

Erdem Davulcu, 1987 yılında doğmuştur.2010 yılında Lisans eğitimini Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği ve Gedik Eğitim Vakfında Kaynak Mühendisliği eğitimini tamamlamıştır. 2022 yılında Kocaeli Üniversitesi İşletme Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. 2023 yılının başından itibaren Fronius İstanbul şirketinde Kaynak Teknolojileri bölümünde Teknik Müdür olarak çalışmaktadır.



# KAYNAKLI İMALATTA DİJİTALLEŞME, ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARI VE İZLENEBİLİRLİK

*Furkan Can TİRYAKI<sup>1,2</sup>*

*1- Cloos Kaynak Teknik San. Ltd. Şti. Gebze Güzeller OSB*

## ÖZET

Gelişen teknoloji ile Endüstri 4.0 kavramı birçok sektörde önemli gelişmelere sebep olmuştur. Kaynaklı imalatta da üretim kontrolü için bu alanda özel teknolojiler gelişmiş ve bu teknolojilerle birlikte üretimde izlenebilirlik sağlanmış bu da üretimdeki verimliliğe ciddi katkılar sağlamıştır. Bu uygulamalarla kaynak hücrelerinin kontrolü, makine verimi, kullanım yüzdeleri ve hata tespitlerinin yanında kalite raporları ve parça parça özelleştirilmiş üretim bilgilerine de erişebilen ileri seviye modüller kullanılmaktadır. Modüllerdeki sensör ve haberleşme bileşenleri sayesinde süreçler anlık olarak izlenebilir ve veriler kıyaslanabilir. Tüm bunlarda hata tespiti, kalite kontrolü ve verim gibi süreçlerde önemli roller oynar. Bu gelişmeler, kaynaklı imalatı daha akıllı esnek ve rekabetçi bir düzeye taşıyarak sektörde önemli bir değişim ve iyileşmeye yol açar.

**Anahtar Kelimeler:** Endüstri 4.0, Dijitalleşme, Kaynakta İzlenebilirlik,

## ABSTRACT

The concept of Industry 4.0 has provided substantial developments in many sectors with developing technology. Special technologies have been developed in this field for production control in welded manufacturing, and with these technologies, traceability in production has been achieved which has made significant contributions to the efficiency in production. Advanced modules that can access welding cells control, machine efficiency, usage percentages and error detection, as well as quality reports and piece by piece customized production information are used with these applications. Thanks to the sensors and communication components in the modules, processes can be monitored instantly and data can be compared. Processes such as error detection, quality control and efficiency also play an important role in all of these. All these improvements lead to a significant change and development in the sector by taking welded manufacturing to a smarter more flexible and competitive level.

**Keywords:** Industry 4.0, Digitalization, Monitorability at Welding

## **GİRİŞ**

2010'lu yılların başında ortaya çıkan Endüstri 4.0 devrimiyle birlikte tüm dünya gözünü karanlık fabrikalara çevirmiş, her geçen gün makineleşme konusunda daha da ileriye gidilmiştir. Tüm bunlar olurken zaman zaman istemsiz sebeplerle dar boğazda kalan tedarik zinciri, firmaların ihtiyaçlarına cevap veremediği süreçlerle karşı karşıya kalmıştır. Artan üretim beklentisi karşısında firmalar farklı yöntemlere başvurmuştur. Bu yöntemlerden en önemlisi mevcut makinelerin performansı üzerinde iyileştirmeler yapmakla çözmeye çalışmaktır. Makinelerin takibi ve doğru kullanımı ile verimlilikleri artmış, hata oranları azalmıştır. Bu gelişmelerin en büyük pay sahibi Endüstri 4.0 ile ivmelenen dijitalleşme teknolojisi olmuş bununla birlikte makine performans ve işlevselliği üzerine farklı çalışmalar ve sistemler geliştirilmiştir.

Üretimin temel taşı olarak kaynaklı imalat yöntemi de bu geliştirmelerden faydalanmış ve hem ölü zamanı azaltmak hem de makinelerdeki hata oranlarını hızlı tespit edip arıza zamanını minimuma indirmek için farklı teknolojiler ortaya çıkmıştır. Bu sayede daha etkili, verimli ve izlenebilir yapılar boy göstermiş ve üretimin önemli bir parçası olma yolunda emin adımlarla ilerlemişlerdir.

## **1. DİJİTALLEŞMENİN KAYNAKLI İMALATTA TALEBİ**

### **1.1- Üretimdeki Problemler**

Dünya'da pandemi dönemindeki durma sonrasında üretimlerde ciddi kapasite artışları olmuş. Bu sebeple robotik kaynak yatırımları ve manuel kaynak uygulamalarındaki performans beklentileri artmıştır. Firmalar istedikleri sayıda kaynakçı bulamadıklarından mevcut kaynakçıların performansını çeşitli yöntemlerle artırma yoluna gitmeye başlamışlardır. Bunun yolu da makine ve çalışan performansını incelemek için kullanılmaya başlanan akıllı sistemlerden geçmiştir.

### **1.2- Rekabetçi Piyasa**

Firmaların içinde bulunduğu ve her geçen gün daha da artan rekabet ortamı üretim hatlarında gerekli optimizasyonu sağlamalarını ve “doğru maliyet hesaplarını” yapmalarını zorunlu hale getirmiştir. Bu sürecin sonunda hem doğru maliyet hesaplarını yapabilmek hem de sarf malzeme giderlerinde yapılan optimizasyona ihtiyaç duyan firmalar farklı çözüm arayışlarına girmişlerdir. Bu alanda yapılan inovasyonlarla şirketler önünü daha net görüp planlamalarını yapabilir. İzlenebilirlikleri ile gerçek kapasitelerini ve ihtiyaçlarını daha doğru değerlendirmeye olanak sağlayabilirler.

### **3.3- Hızlı Arıza Tespitleri**

Kaynaklı imalat üretim aşamasındaki en zor proseslerden biridir. Ön imalattan gelen olası hataları minimize etmek ve prosesin kendi zorluğu bizleri görece olarak daha fazla problemle baş başa bırakabilir. Kaynak makineleri arıza yapabilir, robotik sistemlerde çeşitli sebeplerden hatalar meydana gelebilir. Bu hataları hızlı çözmek demek üretilen parça adetini arttırmak için direkt etki yapmak demektir. Bu durumda birçok sebepten oluşabilecek hataların mümkün olduğu kadar önceden sezilmesi ve olası arıza senaryolarında sorunu hızlıca çözmek için makinelerin izlenebilirliğine ve geri bildirimlerine olan ihtiyaçlar artmıştır. Şekil-1'de hata raporları gözlemlenebilir.

QIROX Demo: Error log

Launched	Terminates	Error number	Error description
2021-01-28 09:15:36	-	342	EMERGENCY STOP PHG
2021-01-28 09:14:15	2021-01-28 09:14:35	330	*** EMERGENCY STOP ACTIVATED ***
2021-01-28 09:12:18	2021-01-28 09:12:39	343	EMERGENCY STOP Operating panel
2021-01-28 09:11:23	2021-01-28 09:11:43	330	*** EMERGENCY STOP ACTIVATED ***
2021-01-28 09:05:53	2021-01-28 09:06:13	330	*** EMERGENCY STOP ACTIVATED ***
2021-01-28 08:59:28	2021-01-28 08:59:48	343	EMERGENCY STOP Operating panel
2021-01-28 08:58:17	2021-01-28 08:58:37	341	EMERGENCY STOP Extern 1
2021-01-28 08:53:42	2021-01-28 08:54:02	343	EMERGENCY STOP Operating panel
2021-01-28 08:43:38	2021-01-28 08:43:58	331	EMERGENCY STOP: Power switched off
2021-01-28 08:41:57	2021-01-28 08:42:17	341	EMERGENCY STOP Extern 1
2021-01-28 08:37:38	2021-01-28 08:37:59	341	EMERGENCY STOP Extern 1
2021-01-28 08:33:34	2021-01-28 08:33:54	331	EMERGENCY STOP: Power switched off
2021-01-28 08:29:20	2021-01-28 08:29:40	331	EMERGENCY STOP: Power switched off
2021-01-28 08:27:18	2021-01-28 08:27:38	341	EMERGENCY STOP Extern 1
2021-01-28 08:15:54	2021-01-28 08:16:15	330	*** EMERGENCY STOP ACTIVATED ***
2021-01-28 08:06:32	2021-01-28 08:06:52	342	EMERGENCY STOP PHG
2021-01-28 08:01:59	2021-01-28 08:02:19	343	EMERGENCY STOP Operating panel
2021-01-28 07:57:40	2021-01-28 07:58:01	330	*** EMERGENCY STOP ACTIVATED ***

Şekil-1

## 2. ENDÜSTRİ 4.0'IN KAYNAKLI İMALATTA YARATTIĞI AVANTAJLAR

### 2.1- Verimlilik

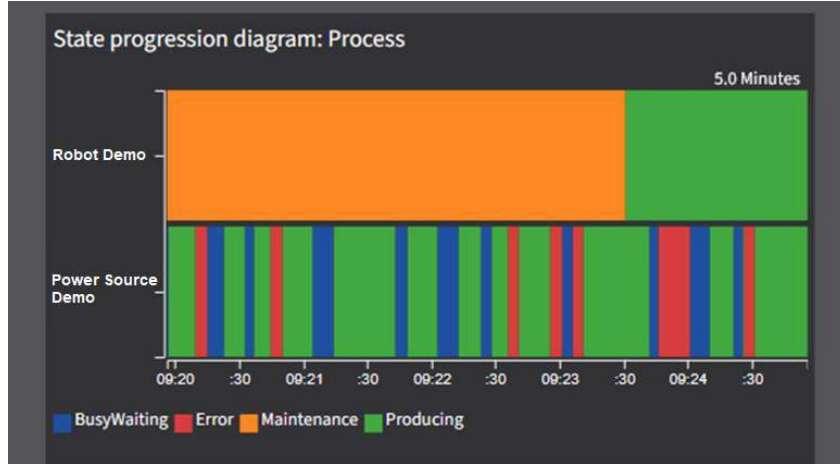
Dijitalleşen cihazlar, veri aktarımı ve kontrol gibi teknolojilerin gelişmesi ile sorun-çözüm arasındaki zaman kaybının azalması ve hata kayıtlarının tutulup benzer durumlarda hızlı müdahale gerçekleşmesi makinenin verimliliğini ciddi oranlarda yükseltmektedir. Şekil 2'de Robot ve makinenin robot ve kaynak makinası durum diyagramlarını hata, bakım, meşguliyet ve uygunluk durumlarını görebilirsiniz. Görüntülenen diyagramlarda bulunan zaman dilimleri yöneticinin talebine göre değiştirilebilir ve olası anlık hatalarda rapor edilebilir.

### 2.2- Kalite

Kaynak işleminin sürekli olarak izlenebilir olması ve kontrol mekanizmasının güçlenmesi kaliteyi artırır. Olası durumlarda hatalar erken tespit edilir ve hızlı teşhislerle önüne geçilebilir. Hatanın önüne geçmek parçayı tekrar çalışmaya göndermemek demek olduğu için parça başına harcanan birim zamandan sizi tasarruf ettirir. Kalite için istenen parametreler ile makineyi sınırlandırabilir böylece kalite problemine karşı ön tedbir alınabilmektedir. Her geçen gün daha da gelişen sensör uygulamaları, yapay zeka ve makine öğrenimi gibi ileri seviye teknolojilerle beraber ön imalatta yaşanabilecek hataların belirli oranda önüne geçmesi sağlanabilir. Kaynakta kaliteyi iyileştirirken aynı zamanda standartlaştırır.

### 2.3- Esneklik

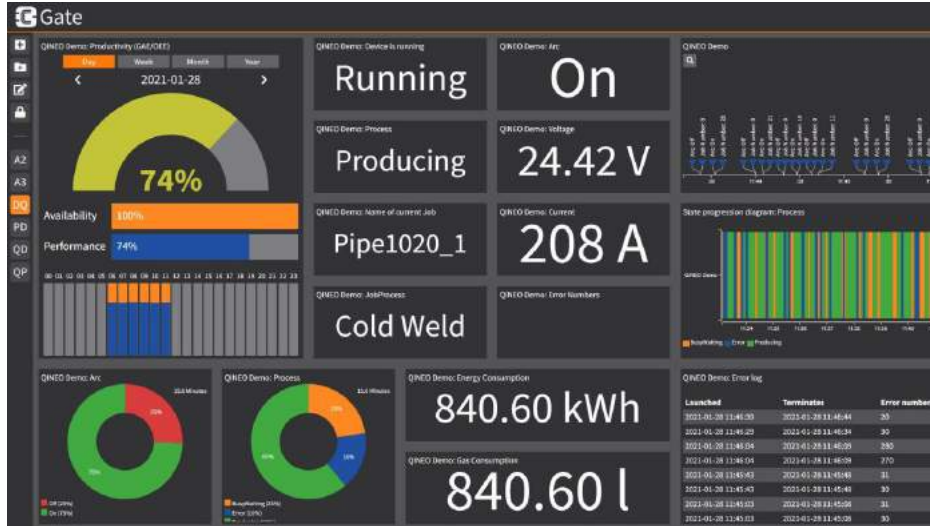
Üretim hattını izlenebilir olması, izlenen hatların farklı ürün gereksinimlerine hızla uyum sağlamasını mümkün hale getirilebilmektedir. Veri işlemlerini yaparken sonraki işler planlayabilir, iş akışını ve iş hızını daha iyi tayin edebilecek esnek bir özelleştirme sağlanabilmektedir.



Şekil-2

## 2.4- Maliyet Optimizasyonu

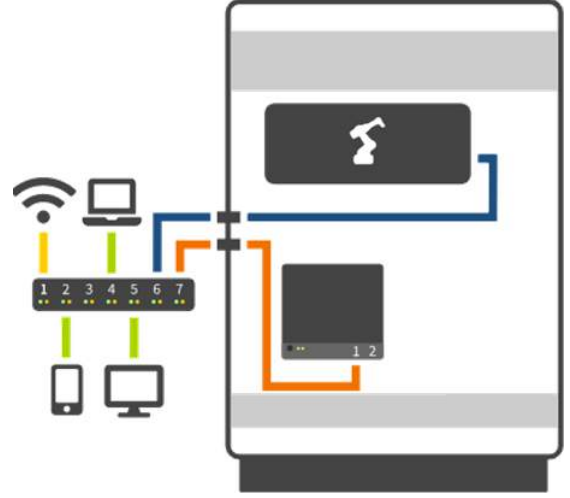
Kaynakta dijitalleşmenin en büyük avantajlarından bir tanesi giderlerin azalması ile alakalı yapılan iyileştirmelerdir. Gaz, tel, enerji tüketimi, sarf malzeme giderlerinin çok fazla göz önüne gelmediği zamanlar olsa da yıllık açıdan kontrol edildiğinde büyük maliyetler oluşturur. Bazı zamanlar göz önünde olmayan hatalar bazı zamanlarda göz önünde olan fakat alışla gelmişlikten ötürü dikkat edilmeyen makine duruşları analiz edilebilir. Üretim devam ederken bunları kontrol edebilmek üretimden bir ayna tutacağı için ciddi avantajlar sağlar.



Şekil-3

## HABERLEŞME

Yeni nesil robot, otomasyon ya da manuel kaynak makinelerinde Endüstri 4.0 tabanlı haberleşmeye yönelik mevcut altyapılar bulunmaktadır. Bu altyapılara IoT bağlantı ekipmanları eklenerek anlık veri aktarımı sağlanabilir. Açık programlama arayüzleri ve OPC UA gibi standartlar sayesinde verilerinizi ERP & MES gibi uygulamala ağınıza kolay ve güvenli bir şekilde entegre edebilirsiniz. Bu altyapıyı sağlayamayan makineler için de tasarlanan özel modüller kullanılmaktadır fakat diğer ileri seviye modüller kadar etkili ve detaylı geri dönüşler sağlayamamaktadır.



Şekil-4

## SONUÇ

Kaynaklı imalatta son zamanlarda ortaya çıkan ve popülaritesi her gün artan IoT, veri analitiği, dijitalleşme gibi konuların entegrasyonunun önemi her geçen gün artmaktadır. Bu entegrasyon, üretim verimliliğini arttırmanın yanı sıra kaynak işlemlerindeki doğruluğu, kaliteyi arttırırken hataları ve duruş sürelerini azaltmaktadır. Yakın gelecekte kaynaklı imalatta Endüstri 4.0 etkisi büyüyecektir. Robot ve otomasyon uygulamalarının daha da artması kaynak işlemlerinde daha kesin, hızlı ve güvenilir sonuçlar elde etme oranını arttırması beklenmektedir. Bu bağlamda endüstriyel sektörler kaynaklı imalatın dijitalleşmesini hızlandırmak ve bu teknolojilerin yaygınlaşmasını teşvik etmek için yeni stratejiler geliştirmelidir. Kaynaklı imalatın Endüstri 4.0 ile entegre edilmesi hem rekabetçi avantajlar hem de sürekli iyileşme için önemli bir adımdır. İleriye dönük olarak birçok inovatif yenilik gelecek ve bu teknolojik dönüşümü daha üst seviyelere çıkaracaktır.

## KAYNAKÇA

<https://c-gate.cloos.de/tr/index.html>

## Kısa Özgeçmiş

Furkan Can Tiryaki, 1996 Bursa/Osmangazi doğumluyum. Bursa'da Ali Osman Sönmez MTAL'de okuduktan sonra bölümümü sevmemin peşine Marmara Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü kazandım. 2020'de üniversiteyi bitirme aşamasındayken Gedik Holding'te çalışmaya başladım. Bu süreçte Kaynak Mühendisliği eğitimi aldım. 2022 yılında Cloos Türkiye bünyesinde Satış Mühendisi olarak çalışmaktayım.

# KAYNAK SEKTÖRÜNDE VERİ YÖNETİMİ VE ENDÜSTRİ 4.0 DÖNÜŞÜMÜ

*Tuğrul Şengeç*

*Magmaweld Uluslararası Ticaret A.Ş., Teknik Satış Mühendisi e-posta:*

*tugrul.sengec@magmaweld.com*

## ÖZET

Kaynaklı imalat yapan sektörler gün geçtikçe teknolojiye olan ilgilerini artırmaktadır. İmalatta kalite ve izlenebilirliğe önem veren her firma için Endüstri 4.0 dönüşümünde yer almak oldukça elzemdir. Bu farkındalıkla hareket eden firmalarda otomasyon ve veri yönetim sistemleri geleneksel yöntemlerin yerini almaktadır.

Verilerin analiz edilebilmesi, kaynaklı imalat yapan firmaların üretim kalitelerini artırma, makine ve operatör performanslarını iyileştirme, üretimde standardizasyon ana başlıklı faydalar sağlamaktadır.

Bu bildiride, kaynaklı imalat sektöründe izlenilmesi gereken parametreler ve veri izleme cihazlarının sağladığı faydalar anlatılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Veri izleme, Kaynak Parametreleri, Kalite, İzlenebilirlik, Kaynak Maliyetleri

## ABSTRACT

Manufacturers with welding applications are increasing their interest to upcoming technologies. It is crucial to take place for Industry 4.0 transformation for every company that are aware of importance of data collecting and traceability. Awareness of importance for data collecting devices replacing traditional methods.

Analyze of welding parameters benefits to increasing performance of welding machines and operators, standardization of welding applications and ensuring target quality for welding applications.

In this document, parameters that are need to tracked in manufacturers with welding applications and benefits of data tracking devices are being evaluated.

**Keywords:** Data Collection, Welding Parameters, Quality, Traceability, Welding Costs

## **GİRİŞ**

Günümüzde kalite beklentilerini karşılamak, maliyetleri azaltmak, operatör ve kaynak makinelerinin verimliliğini arttırmak çok önemlidir. Bu yazıda veri izleme cihazları ile bu ana başlıktaki süreçlerin nasıl geliştirilebileceği ve süreçler için nasıl fayda sağladığı anlatılmıştır.

### **1. KAYNAKLI İMALAT SEKTÖRÜNDE İZLENEBİLİRLİK GEREKTİREN PARAMETRELER**

Üzerinde çalışılan tüm iş kollarında verimliliği arttırmak, maliyetleri düşürmek ve performans yönetimi için gerekli olan en önemli döne verilerin izlenebilmesi, ölçülmesidir. Analizler ancak verilerin ölçülmesi ile mümkün olur. Ölçülen veriler raporlama ve analiz şeklinde üretici firmalara iletileşleri hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Kaynaklı imalat yapan firmalar için aşağıda sıralanan veriler büyük önem arz etmektedir;

- Arc-on Time
- Kaynak Yığılma (Hız ve Miktar)
- Kaynak Akımı ve Voltajı
- Tel Hızı ve Tüketimi
- Gaz Akışı ve Tüketimi
- Enerji ve Tüketimi
- Kaynak Teli, Gazı ve Enerji Maliyeti
- Kaynak makinesi ve ekipmanlarının bakım planı Robotik uygulamalara özel;
- Cycle süresi
- Kaynaksız hareket süresi

### **2. VERİ İZLENEBİLİRLİĞİ CİHAZLARININ SAĞLADIĞI FAYDALAR**

Veri izlenebilirliği cihazlarının üretim yapan işletmelere sağladığı faydaları Kalite, Maliyet ve Performans konuları için ele alındığında aşağıdaki başlıklar altında incelenebilir;

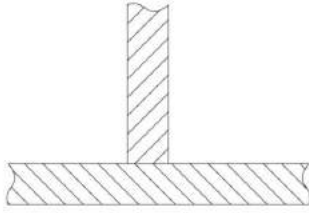
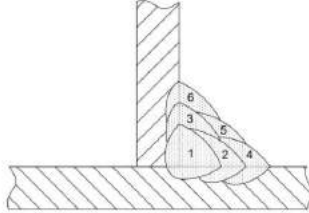
#### **2.1 Kaynak Kalitesini Arttırmak**

Kaynak verilerinin incelenmesi kaynak kalitesi beklentilerinin sağlanmasında önemli veriler sağlar. Kaynak Prosedürü Şartnamelerinin(WPS) takibi, yapılan kaynak işlemlerinin bu şartnamelere uygunluğunun takibi, varsa kaynak hatalarının incelenmesi, kalite risklerinin belirlenmesi ve operatörlerin kabul edilebilir sınırlar içinde yada dışında kaynak yaptıklarının gözlenmesi şeklinde izlenebilir. Veri izleme cihazları Kaynak Şartnamelerinin elektronik ortamda otomatik kontrolünü sağlaması açısından şirketlerin kalite beklentilerini üst seviyelere çıkarabilir.

**Tablo 1: Dijital WPS örneği -1[2]**

WPS No		MS2-0034	WPS Tarihi		07.06.2021																										
WPQR No		GSI-WPQR-15-1127	İlgili Standart		EN ISO 15612:2004																										
<p><b>Ana Malzemeler</b></p> <table border="1"> <tr> <td rowspan="3">A</td> <td>Malzeme Grubu</td> <td>1.1</td> <td>Ürün Tipi</td> <td>Plaka</td> </tr> <tr> <td>Sınıf/Kalite</td> <td>-</td> <td>Malzeme Kalınlığı (mm)</td> <td>30 - 30</td> </tr> <tr> <td>Standart</td> <td>(EN ISO CR 15908:2013</td> <td>Boru Dış Çapı (mm)</td> <td>0 - 0</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">B</td> <td>Malzeme Grubu</td> <td>1.1</td> <td>Ürün Tipi</td> <td>Plaka</td> </tr> <tr> <td>Sınıf/Kalite</td> <td>-</td> <td>Malzeme Kalınlığı (mm)</td> <td>30 - 30</td> </tr> <tr> <td>Standart</td> <td>(EN ISO CR 15908:2013</td> <td>Boru Dış Çapı (mm)</td> <td>0 - 0</td> </tr> </table>						A	Malzeme Grubu	1.1	Ürün Tipi	Plaka	Sınıf/Kalite	-	Malzeme Kalınlığı (mm)	30 - 30	Standart	(EN ISO CR 15908:2013	Boru Dış Çapı (mm)	0 - 0	B	Malzeme Grubu	1.1	Ürün Tipi	Plaka	Sınıf/Kalite	-	Malzeme Kalınlığı (mm)	30 - 30	Standart	(EN ISO CR 15908:2013	Boru Dış Çapı (mm)	0 - 0
A	Malzeme Grubu	1.1	Ürün Tipi	Plaka																											
	Sınıf/Kalite	-	Malzeme Kalınlığı (mm)	30 - 30																											
	Standart	(EN ISO CR 15908:2013	Boru Dış Çapı (mm)	0 - 0																											
B	Malzeme Grubu	1.1	Ürün Tipi	Plaka																											
	Sınıf/Kalite	-	Malzeme Kalınlığı (mm)	30 - 30																											
	Standart	(EN ISO CR 15908:2013	Boru Dış Çapı (mm)	0 - 0																											
<p><b>Kaynak Yöntemi</b></p> <table border="1"> <tr> <td>Kaynak Yöntemi</td> <td>135</td> <td>Ön Isırma Sıcaklığı (°C)</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Uygulama Şekli</td> <td>Yarı Melanize</td> <td>Pasolar Arası Sıcaklık (°C)</td> <td>350</td> </tr> </table>						Kaynak Yöntemi	135	Ön Isırma Sıcaklığı (°C)	100	Uygulama Şekli	Yarı Melanize	Pasolar Arası Sıcaklık (°C)	350																		
Kaynak Yöntemi	135	Ön Isırma Sıcaklığı (°C)	100																												
Uygulama Şekli	Yarı Melanize	Pasolar Arası Sıcaklık (°C)	350																												
<p><b>Birleştirme Detayları</b></p> <table border="1"> <tr> <td>Birleştirme Tipi</td> <td>(FW) - Döşü Kaynağı</td> <td>Kaynak Ağzı Hazırlığı</td> <td>Taslama</td> </tr> <tr> <td>Kaynak Pozisyonu</td> <td>PB</td> <td>Kök Desteği</td> <td>Desteğe Yok</td> </tr> <tr> <td>Kaynak Dikliği Tipi</td> <td>Desteğe Yok</td> <td>Atık Malzemesi</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>İşlem Yüzeyi</td> <td>Tek Yönlü</td> <td>Kök Açma</td> <td>Hayır</td> </tr> <tr> <td>Katman</td> <td>Çok Kat</td> <td>Kök Açma Yöntemi</td> <td>-</td> </tr> </table>						Birleştirme Tipi	(FW) - Döşü Kaynağı	Kaynak Ağzı Hazırlığı	Taslama	Kaynak Pozisyonu	PB	Kök Desteği	Desteğe Yok	Kaynak Dikliği Tipi	Desteğe Yok	Atık Malzemesi	-	İşlem Yüzeyi	Tek Yönlü	Kök Açma	Hayır	Katman	Çok Kat	Kök Açma Yöntemi	-						
Birleştirme Tipi	(FW) - Döşü Kaynağı	Kaynak Ağzı Hazırlığı	Taslama																												
Kaynak Pozisyonu	PB	Kök Desteği	Desteğe Yok																												
Kaynak Dikliği Tipi	Desteğe Yok	Atık Malzemesi	-																												
İşlem Yüzeyi	Tek Yönlü	Kök Açma	Hayır																												
Katman	Çok Kat	Kök Açma Yöntemi	-																												

**Tablo 2: Dijital WPS örneği -2 [2]**

Kaynak Tasarımı																																																																																																																							
																																																																																																																							
<p><b>Pasolar</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pase</th> <th rowspan="2">Kaynak Yöntemi</th> <th rowspan="2">Marka</th> <th colspan="2">Kaynak Tüketim Malzemesi</th> <th colspan="2">Koruma Gazı</th> <th colspan="2">Kök Koruma Gazı</th> <th rowspan="2">Akım Tipi</th> <th rowspan="2">Akım (A)</th> <th rowspan="2">Gerilim (V)</th> <th rowspan="2">Tej Hızı (mm/dk)</th> <th rowspan="2">Kaynak Hızı (mm/dk)</th> <th rowspan="2">Pasolar Uzunluğu (mm)</th> <th rowspan="2">İş girilisi (ly/mm)</th> </tr> <tr> <th>Sınıf</th> <th>Çap (mm)</th> <th>İgaz</th> <th>Debi (l/dk)</th> <th>İgaz</th> <th>Debi (l/dk)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>135</td> <td>MG 2</td> <td>EN ISO 14341-AG 42 M21 G351</td> <td>-</td> <td>M21</td> <td>10-12</td> <td>M21</td> <td>10-12</td> <td>DC(+)</td> <td>260-330</td> <td>31-33</td> <td>12,5-12,9</td> <td>300-420</td> <td>-</td> <td>1,1-1,2</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>135</td> <td>MG 2</td> <td>EN ISO 14341-AG 42 M21 G351</td> <td>-</td> <td>M21</td> <td>10-12</td> <td>M21</td> <td>10-12</td> <td>DC(+)</td> <td>270-290</td> <td>30-32</td> <td>11,8-11,9</td> <td>410-470</td> <td>-</td> <td>0,9-0,9</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>135</td> <td>MG 2</td> <td>EN ISO 14341-AG 42 M21 G351</td> <td>-</td> <td>M21</td> <td>10-12</td> <td>M21</td> <td>10-12</td> <td>DC(+)</td> <td>270-290</td> <td>30-32</td> <td>11,5-11,9</td> <td>410-470</td> <td>-</td> <td>0,9-0,9</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>135</td> <td>MG 2</td> <td>EN ISO 14341-AG 42 M21 G351</td> <td>-</td> <td>M21</td> <td>10-12</td> <td>M21</td> <td>10-12</td> <td>DC(+)</td> <td>270-290</td> <td>30-32</td> <td>11,5-11,9</td> <td>410-470</td> <td>-</td> <td>0,9-0,9</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>135</td> <td>MG 2</td> <td>EN ISO 14341-AG 42 M21 G351</td> <td>-</td> <td>M21</td> <td>10-12</td> <td>M21</td> <td>10-12</td> <td>DC(+)</td> <td>270-290</td> <td>30-32</td> <td>11,5-11,9</td> <td>410-470</td> <td>-</td> <td>0,9-0,9</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>135</td> <td>MG 2</td> <td>EN ISO 14341-AG 42 M21 G351</td> <td>-</td> <td>M21</td> <td>10-12</td> <td>M21</td> <td>10-12</td> <td>DC(+)</td> <td>270-290</td> <td>30-32</td> <td>11,5-11,9</td> <td>410-470</td> <td>-</td> <td>0,9-0,9</td> </tr> </tbody> </table>		Pase	Kaynak Yöntemi	Marka	Kaynak Tüketim Malzemesi		Koruma Gazı		Kök Koruma Gazı		Akım Tipi	Akım (A)	Gerilim (V)	Tej Hızı (mm/dk)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Pasolar Uzunluğu (mm)	İş girilisi (ly/mm)	Sınıf	Çap (mm)	İgaz	Debi (l/dk)	İgaz	Debi (l/dk)	1	135	MG 2	EN ISO 14341-AG 42 M21 G351	-	M21	10-12	M21	10-12	DC(+)	260-330	31-33	12,5-12,9	300-420	-	1,1-1,2	2	135	MG 2	EN ISO 14341-AG 42 M21 G351	-	M21	10-12	M21	10-12	DC(+)	270-290	30-32	11,8-11,9	410-470	-	0,9-0,9	3	135	MG 2	EN ISO 14341-AG 42 M21 G351	-	M21	10-12	M21	10-12	DC(+)	270-290	30-32	11,5-11,9	410-470	-	0,9-0,9	4	135	MG 2	EN ISO 14341-AG 42 M21 G351	-	M21	10-12	M21	10-12	DC(+)	270-290	30-32	11,5-11,9	410-470	-	0,9-0,9	5	135	MG 2	EN ISO 14341-AG 42 M21 G351	-	M21	10-12	M21	10-12	DC(+)	270-290	30-32	11,5-11,9	410-470	-	0,9-0,9	6	135	MG 2	EN ISO 14341-AG 42 M21 G351	-	M21	10-12	M21	10-12	DC(+)	270-290	30-32	11,5-11,9	410-470	-	0,9-0,9
Pase	Kaynak Yöntemi				Marka	Kaynak Tüketim Malzemesi		Koruma Gazı		Kök Koruma Gazı								Akım Tipi	Akım (A)	Gerilim (V)	Tej Hızı (mm/dk)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Pasolar Uzunluğu (mm)	İş girilisi (ly/mm)																																																																																															
		Sınıf	Çap (mm)	İgaz		Debi (l/dk)	İgaz	Debi (l/dk)																																																																																																															
1	135	MG 2	EN ISO 14341-AG 42 M21 G351	-	M21	10-12	M21	10-12	DC(+)	260-330	31-33	12,5-12,9	300-420	-	1,1-1,2																																																																																																								
2	135	MG 2	EN ISO 14341-AG 42 M21 G351	-	M21	10-12	M21	10-12	DC(+)	270-290	30-32	11,8-11,9	410-470	-	0,9-0,9																																																																																																								
3	135	MG 2	EN ISO 14341-AG 42 M21 G351	-	M21	10-12	M21	10-12	DC(+)	270-290	30-32	11,5-11,9	410-470	-	0,9-0,9																																																																																																								
4	135	MG 2	EN ISO 14341-AG 42 M21 G351	-	M21	10-12	M21	10-12	DC(+)	270-290	30-32	11,5-11,9	410-470	-	0,9-0,9																																																																																																								
5	135	MG 2	EN ISO 14341-AG 42 M21 G351	-	M21	10-12	M21	10-12	DC(+)	270-290	30-32	11,5-11,9	410-470	-	0,9-0,9																																																																																																								
6	135	MG 2	EN ISO 14341-AG 42 M21 G351	-	M21	10-12	M21	10-12	DC(+)	270-290	30-32	11,5-11,9	410-470	-	0,9-0,9																																																																																																								
<p><b>Isıl İşlem</b></p>																																																																																																																							



**Tablo 3:** Dijital WPS değerlerine göre kaynak hatalarının incelenmesi [2]

Belirlenen WPS parametrelerine göre kaynak hatalarının anlık ya da geçmişe yönelik olarak tespit edilmesi tek seferde doğru ürünü üretebilme, üretim sahasındaki makine ya da operatöre bağlı sürekli hale gelen hataların azaltılması, rework işlemlerini minimize etme, kalite kontrol birimlerinin üzerindeki yoğunluğu azaltma gibi etkiler veri izleme cihazları sayesinde rahatça belirlenebilmektedir.

## 2.2 Gerçek Kaynak Maliyetlerini Öğrenmek ve Kaynak Maliyetlerinin Azaltılması

Geleneksel yöntemlerle kaynak maliyetlerinin belirlenmesi konuyla ilgili departmanların fazlasıyla vaktini almaktadır ve karmaşık işlemler gerektirmektedir. Bir kaynaklı imalatın tüketim ürünleri bazlı gerçek kaynak maliyetlerinin analizi, ürün ya da proje başına kullanılan kaynak malzemelerinin( kaynak teli, kaynak gazı, kaynak tozu vs.) ve tüketilen enerjinin ölçülmesi ile mümkün olabilmektedir. Veri takip cihazlarının edindiği bu tüketim parametreleri, tüketilen ürünlerin maliyetlerinin bilinmesi ile birlikte çok kesin bir doğrulukla ürün bazlı ya da proje bazlı kaynak maliyetlerini gözler önüne sermektedir.

**Tablo 4:** Proje Bazlı tüketim bilgilerinin incelenmesi[2]

Proje Bilgileri		Proje Üretim Bilgileri				Punta Üretim Bilgileri				Kaynak Üretim Bilgileri				Tavir Üretim Bilgileri				Kaynak Bilgileri								
Proje Kodu	Üretim Hedefi [ad]	Üretim Alınışı [kg]	Punta Durumu	Kaynak Durumu	Üretim Sayısı [adet]	Kaynak Sarfı [kg]	Üretim [ad]	Üretim [kg]	Üretim [adet]	Kaynak Sarfı [kg]	Üretim [ad]	Üretim [kg]	Üretim [adet]	Kaynak Sarfı [kg]	Kaynak Sarfı [kg]	Üretim Sayısı [adet]	Arç On Tane [adet]	Tüketilen Tel [kg]	Tüketilen Tel [kg]	Tüketilen Gaz [lit]						
					0	0	0	0	0	7.353,790	0	0	0	0	1.625	0	0	123	842	7	3.362					
1000003292-21	172	2.888	100%	11%	0	0	0	0	0	627	7.884,573	18	367	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
1000003296-25	91	16.128	100%	77%	0	0	0	0	0	1.353	11.954,335	2	736	229	2.643,198	1	379	300	0	1.592	243	2.404	21	858		
1000003295-23	222	19.965	100%	80%	0	21.609	3	518	351	3.228,436	2	345	409	2.235,839	4	690	333	0	791	91	894	0	554			
1000003291-03	1.057	59.780	100%	69%	0	0	0	0	0	2.686	21.949,729	19	5.203	0	0	0	0	0	0	3.482	0	2.139	532	6.799	40	9.948
1000003291-04	95	8.889	100%	23%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	82,713	1	36	2	0	14	1	10	0	22		
1000003291-05	1.110	57.844	100%	0%	764	737,712	203	5.577	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	904	0	705	12	111	1	158
1000003291-05	28	3.457	100%	100%	0	0	0	0	0	518	6.110,443	5	1.280	0	0	0	0	0	0	345	0	518	142	1.113	10	1.838
1000003296-21	1.058	32.776	100%	21%	151	547,515	219	4.228	418	1.538,471	16	138	0	0	0	0	0	0	0	636	0	905	35	295	2	838
1000003297-04	36	66	100%	35%	0	0	0	0	0	392	832,384	18	26	0	0	0	0	0	0	36	0	302	14	108	0	6
2000003291-0501	8	183	100%	52%	111	287,730	1	16	35	347,179	0	0	0	0	0	0	0	0	373	0	145	11	94	1	218	
1000003278-23	148	86.779	100%	18%	823	891,945	48	8.000	988	8.856,429	7	7.294	0	0	0	0	0	0	0	1.251	0	2.232	164	1.283	11	3.935
<b>Total</b>																				9.901	0	10.433	1.446	12.854	109	21.724

Kaynak hatalarının kaynak esnasında tespit edilmesi de maliyetlerin kontrol altına alınabilmesi adına önemli bir etmendir. Kaynak esnasında WPS parametrelerinin dışına çıkılması suretiyle oluşan kaynak hataları rework istasyonlarında oluşturulan uzun iş kuyrukları ve kalite kontrol departmanlarından geri dönen işler şeklinde kendini gösterir. Veri izleme cihazları sayesinde kaynak hataları kaynak esnasında görüntülenebildiğinden anıdamüdahale ile yapılan işin tek seferde en doğru şekilde yapılması suretiyle üreticileri olası maliyetlerden kurtarmaktadır.

### 2.3 OEE, Kaynak Makinesi ve Operatör Performanslarının Geliştirilmesi

OEE bütün ekipmanların ne ölçüde kullanıldığına işaret eden bir TPM hesabıdır. Arızalar, ekipman ayarları, duruşlar, çalışma hızındaki azalmalar, ıskartalar ve yeniden işlem gibi kayıplar üzerine düşer. Amacı; şirketlerin eldeki makine ve ekipmanların performanslarının arttırılmasına odaklanmaktır.

$OEE[\%] = \text{Kullanılabilirlik Oranı} \times \text{Performans Oranı} \times \text{Kalite Oranı}$

- Kullanılabilirlik Oranı[%]: Ekipmana ait sebeplerden (arıza, ayarlamadan kaynaklanan duruş süresi vs.) kaynaklanan kullanılabilirlik miktarını gösterir.
- Performans Oranı[%]: Çalışma hızlarında tasarımıyla belirlenmiş hızlara göre düşüşleri ve birkaç saniyelik duruşları hesap eder.
- Kalite Oranı[%]: Toplam işlenen parçaların ıskarta ve yeniden işlem kayıplarının yüzdesidir.

Veri izleme cihazları ile kaynak makinalarının kullanılabilirlik seviyeleri izlenebilir, operatörlerin performansları incelenebilir ya da eğitim ihtiyaçları belirlenebilir. Bunun için ilgili raporlar analiz edilerek performans iyileştirmeye yönelik adımlar atılması mümkündür. [1]

**Tablo 5:** Proje Bazlı Operatör Performanslarının İncelenmesi[2]

Proje Ağırlığı [kg]	Operatör Bilgileri		Kaynak Bilgileri						Kaynak Üretim Bilgileri			
	Operatör Kodu	Operatör Adı	Proje Sırası	Proje Sırası	Proje Sırası	Proje Sırası	Proje Sırası	Proje Sırası	Proje Sırası	Proje Sırası	Proje Sırası	Proje Sırası
			Kaynak Sayısı [ad]	Hatalı Kaynak Sayısı [ad]	Arc On Time [dk]	Tüketilen Tel [m]	Tüketilen Tel [kg]	Tüketilen Gaz [€]	Üretim Süresi [dk]	Kaynak Süresi [dk]	Üretim [ad]	Üretim [kg]
59,760	7130	ALI	43	0	12	116	1	256	63	731,224	2	554
	6931	ASRİN	186	0	14	113	1	201	0	813,467	0	0
	709	DURAN	399	0	65	633	4	1,366	339	3,898,060	5	1,087
	5351	FERDİ	387	0	79	679	6	1,544	276	4,725,294	1	449
	5859	HAKAN	86	0	18	155	1	337	0	1,071,042	0	0
	7126	HAMZA	620	0	71	608	5	1,406	338	4,276,189	1	397
	5365	KEMAL	265	0	37	310	3	601	183	2,197,200	0	0
	4934	KORAY	262	0	28	237	2	416	165	1,654,890	1	320
	5284	MESUT	79	0	18	170	2	246	0	1,100,355	0	0
	4621	NİZAMETTİN	106	0	11	99	1	184	0	681,947	0	0
	718	RAMAZAN	680	0	101	912	6	1,900	320	6,034,536	2	641
	<b>Toplam</b>		<b>3.110</b>	<b>0</b>	<b>450</b>	<b>4.031</b>	<b>34</b>	<b>8.444</b>	<b>1.702</b>	<b>27.184.204</b>	<b>12</b>	<b>0.445</b>

**Tablo 6:** Proje Bazlı Makine Performanslarının İncelenmesi[2]

Makine Bilgileri	Kaynak Sırası Tablosu (İşletim)					Kaynak Üretim Bilgileri					Proje Üretim Bilgileri					Tamam Üretim Bilgileri					Çözümler								
	Kaynak Sırası [kg]	Arc On Time [h]	Tüketilen Tel [m]	Tüketilen Tel [kg]	Tüketilen Gaz [l]	Üretim Sırası [kg]	Kaynak Sırası [kg]	Üretim [kg]	Üretim [kg]	Üretim Sırası [kg]	Kaynak Sırası [kg]	Üretim [kg]	Üretim [kg]	Üretim Sırası [kg]	Kaynak Sırası [kg]	Üretim [kg]	Üretim [kg]	Üretim Sırası [kg]	Kaynak Sırası [kg]	Üretim [kg]	Üretim [kg]	Üretim Sırası [kg]	Üretim [kg]	Üretim Sırası [kg]	Üretim [kg]	Üretim Sırası [kg]	Üretim [kg]		
EWM 412097	20765	4,298	34,643	214	102,336	24,616	243,320,916	795	36,178	0	0	0	0	85	197,577	11	3,250	177	173	21									
EWM 411767	20733	4,565	38,869	345	0	26,735	273,393,862	635	30,645	0	0	5	24	1,268	1,815,348	64	1,477	173	19										
EWM 140-00007	0	0	0	0	0	3307	0	13	758	15,148	0	2,698	90,231	281	0	114	7,246	0	0										
EWM 140-00008	0	0	0	0	0	294	0	125	814	17,852	0	2,175	56,830	528	0	7	498	0	0										
KAYNAK MAKİNESİ-1	361	88	1,855	17	1,276	0	5,281,873	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
EWM-406613	19465	3,480	30,776	273	48,481	16,673	302,741,301	364	19,079	0	0	0	0	1,048	7,037,519	13	2,444	222	36										
PMASONG-3	10131	4,669	23,756	212	162,226	16,691	253,256,292	119	94,244	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
MW-11574-4337	44584	325	15,885	56	19,906	185	4,651,370	15	1,138	18,365	49,853,956	1,785	36,537	888	1,010,533	49	2,926	156	23										
EWM-406614	20009	4,497	43,389	386	0	23,956	263,163,707	585	26,845	0	0	0	0	2,531	16,662,269	63	5,988	185	21										
LNFCOLU 47	8730	1,511	21,516	100	23,811	9,875	89,130,545	159	10,951	0	0	0	0	406	970,727	88	788	205	24										
EWM-406615	14116	3,264	29,071	353	55,263	17,051	199,352,850	212	15,768	0	0	0	0	734	2,263	12,287,978	25	3,716	192	22									
FAHUC-2	3779	2,969	23,372	208	103,568	16,674	178,336,350	180	15,734	1,465	1,428,221	26	3,577	0	0	0	0	0											
EWM-370983	21647	3,448	28,413	252	57,297	19,934	205,525,372	402	18,808	0	0	1	4	730	1,025,068	21	1,447	200	24										
OM-301	0	0	0	0	0	0	0	0	0	341	0	0	24	379	0	0	0	0	0										
LNFCOLU 43	14697	2,164	30,234	259	49,241	12,574	130,644,950	268	22,465	0	0	0	0	828	1,589,274	59	2,988	172	20										
LNFCOLU 45	1165	132	1,831	16	2,450	724	7,906,264	32	1,833	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										
EWM 370985	18029	3,349	27,329	243	49,900	17,340	197,656,493	428	24,480	0	0	1	215	429	3,358,382	0	1,022	208	24										
MW 1000 95	7245	162	1,518	10	4,434	7	9,536,525	580	6,754	804	1,314,308	84	679	0	0	0	0	0	0										
EWM 370982	8021	369	3,364	50	16,620	1,630	43,601,304	48	1,358	2,397	8,225,406	38	2,586	132	1,779,730	1	426	217	24										
MW-002	10436	447	3,974	36	6,913	1,980	23,883,834	24	3,954	2,786	2,942,233	57	11,137	0	0	0	0	0	0										
EWM-407341	15263	3,567	27,565	75	47,964	17,455	209,680,466	303	16,929	0	0	0	0	1,590	6,116,070	17	1,644	160	18										
EWM-411572	17593	3,108	27,221	242	61,351	17,553	164,872,216	400	28,072	0	0	0	0	520	1,388,407	19	2,011	190	23										
LNFCOLU 45	0	0	0	0	0	1,939	0	748	25,197	6,334	0	199	85,488	0	0	0	0	0	0										
PMASONG-2	9027	4,589	26,575	0	126,075	13,613	275,373,127	41	1,447	803	0	137	1,191	0	0	0	0	0	0										
LNFCOLU 48	15470	2,178	26,149	250	83,226	12,637	130,544,062	279	17,081	0	0	5	38	40	0	14	844	199	24										
PMASONG-1	10071	3,899	23,188	208	123,228	12,695	276,699,220	231	1,931	423	1,437,846	107	840	0	0	0	0	0	0										
EWM-406618	20750	3,569	32,008	354	90,112	21,030	211,601,370	458	35,851	0	0	2	4	1,053	3,190,777	62	1,824	205	24										
EWM 348799	12340	2,368	20,485	182	31,491	14,900	156,786,292	486	21,116	7,119	0	208	25,640	1,289	6,280,249	18	1,874	126	14										
EWM-406616	23694	4,265	38,021	320	71,281	24,844	255,836,171	704	41,862	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0										
FAHUC-1	4429	3,535	29,797	258	101,096	21,698	169,426,390	185	8,181	506	0	0	0	214	490,250	15	946	157	15										
EWM-405778	9240	321	2,759	24	6,922	1,051	10,588,067	25	456	1,333	3,074,906	0	0	0	0	0	0	0	0										
EWM-0141-0003	43887	588	3,026	27	0	6,897	298,327	75	8,886	13,302	34,787,931	2,183	51,147	1,376	96,648	17	2,238	116	14										
MW-11574-4337	42518	685	6,964	72	16,941	353	4,697,797	83	1,034	18,625	38,961,356	1,384	198,205	95	170,184	14	2,295	175	25										
MW-004	7380	379	3,470	31	4,500	16,79	19,991,333	23	3,627	5,362	2,763,194	55	25,691	0	0	0	0	0	0										
LNFCOLU 44	48	4	53	0	54	0	225,192	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0										

Genel performans verilerinin önemli bir ayağını da işletmedeki duruşlar belirlemektedir. Duruşların önemli bir bölümü geliştirilmeye açık alanlardır. Ölçülebilen duruşlar geliştirmeler için analiz edilebilir. Veri takip cihazlarıyla gerek operatör bazlı gerekse de işletme bazlı duruş analizleri yapabilmek mümkündür.

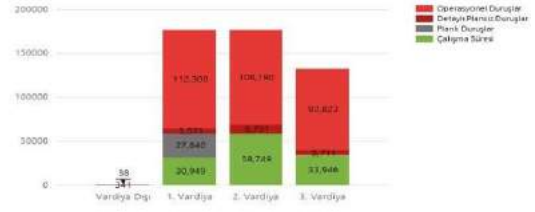
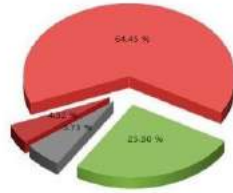
**Tablo 7:** Operatör Bazlı Duruşların Analizi [2]

Proje Ağırlığı [kg]	Operatör Bilgileri		Kaynak Bilgileri						Kaynak Üretim Bilgileri					
	Operatör Kodu	Operatör Adı	Proje Sırası	Proje Sırası	Proje Sırası	Proje Sırası	Proje Sırası	Proje Sırası	Proje Sırası	Proje Sırası	Proje Sırası	Proje Sırası	Proje Sırası	
			Kaynak Sayısı [ad]	Hatalı Kaynak Sayısı [ad]	Arc On Time [dk]	Tüketilen Tel [m]	Tüketilen Tel [kg]	Tüketilen Gaz [l]	Üretim Süresi [dk]	Kaynak Süresi [dk]	Üretim [ad]	Üretim [kg]		
59,780	7130	ALİ	43	0	12	116	1	256	83	731,224	2	554		
	6931	ASRIN	186	0	14	113	1	201	0	813,467	0	0		
	709	DURAN	399	0	65	633	4	1,356	339	3,858,060	5	1,087		
	5351	FERDİ	387	0	79	679	6	1,544	276	4,725,294	1	449		
	5853	HAKAN	86	0	18	165	1	337	0	1,071,042	0	0		
	7120	HAMZA	620	0	71	608	5	1,406	338	4,276,189	1	397		
	5305	KEMAL	265	0	37	310	3	601	183	2,157,200	0	0		
	4934	KORAY	262	0	28	237	2	416	165	1,654,890	1	320		
	5284	MESUT	79	0	18	170	2	246	0	1,100,355	0	0		
	4621	NİZAMETTİN	106	0	11	99	1	184	0	661,947	0	0		
	718	RAMAZAN	680	0	101	912	8	1,900	320	6,034,536	2	641		
	<b>Toplam</b>		<b>3,113</b>	<b>0</b>	<b>453</b>	<b>4,031</b>	<b>34</b>	<b>8,444</b>	<b>1,702</b>	<b>27,184,204</b>	<b>12</b>	<b>3,448</b>		

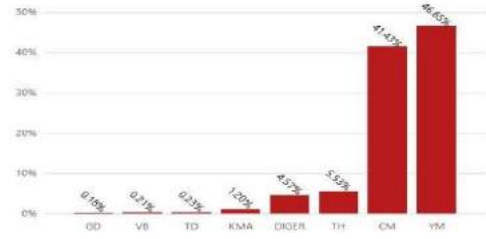
**Tablo 8:** İşletm19e Bazlı Duruşların Analizi [2]

Çalışanlar  
Planlı Duruş  
Sepili Duruş  
Operasyonel Duruş

Kriter	Süre (dk)
Planlanan Çalışma Süresi	457.920
Gerçekleşen Çalışma Süresi	123.646
Planlı Duruş	27.640
Planlı Duruş	814.333
Operasyonel Duruş	313.313
Sepili Duruş	21.620



Detaay Duruş Bilgileri		Değerler	
Kodu	Açıklama	Duruş Süresi [dk]	Duruş Sayısı [ad]
YM	YEMEK MOLASI	9.806	300
CM	ÇAY MOLASI	8.708	548
TH	TEZGAH HAZIRLIĞI	1.163	91
DiGER	KİŞİSEL İHTİYAÇLAR	960	76
KMA	KAYNAK MAKİNESİ ARIZASI	252	7
TD	TEL DEĞİŞTİRME	49	4
VB	VİNÇ BEKLEME	44	6
GD	TÜP / GAZ DEĞİŞİMİ	38	6
<b>Toplam</b>		<b>21.020</b>	<b>1038</b>



## **SONUÇ**

Kaynaklı imalatlarda kalite ve izlenebilirliğe verilen önem artıkça veri izlenebilirliği cihazları büyük önem kazanmış ve firmalara olumlu katkıları olmuştur. Veri izleme cihazlarındaki gelişmeler de bu olumlu faydaların arttırmaktadır. Kalite beklentilerinin karşılanması, gerçek kaynak maliyetlerinin daha keskin belirlenmesi, kaynak maliyetlerinin azaltılması, üretimde standardizasyon, kaynak makinesi ve operatörlerinin performanslarının optimize edilmesi veri izleme cihazları ile kolay ve etkili şekilde yapılabilmektedir. Maliyet analizlerinde, OEE hesaplamalarında, CQI 15 vb. denetimlerde kaynaklı imalat yapan işletmelerin iş yükünü büyük oranda azaltmaktadır.

## **KAYNAKÇA**

[1] <https://www.lean.org.tr>

[2] [www.magmaweld.com](http://www.magmaweld.com)

## **ÖZGEÇMİŞ**

Tuğrul Şengeç, 1988 yılında doğmuştur. Lisans eğitimini Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği alanında tamamlamıştır. 2018 yılında Kocaeli Üniversitesi İşletme Bölümü Yüksek Lisans eğitimini tamamlamıştır. 2022 Yılı itibari ile Endüstri 4.0 kapsamında Manuel ve Robotik Kaynak uygulamalarında yenilikçi çözümler sunan, Kaynak Yönetim Sistemi “MagNET” projesinin satışını ve projelendirilmesini yönetmektedir.

## KAYNAKTA İZLENEBİLİRLİK ÇÖZÜMLERİ

Umut GÜRBEY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ESAB, Satış Mühendisi

e-posta: umut.gurbey@esab.se

### Özet

Kaynak endüstrisi zamanla daha karmaşık bir hale geldi ve izlenebilirlik gereksinimleri her zamankinden daha yüksek. Günümüzde çok sayıda uluslararası standart var ve bu da izlenebilirliğı zorunlu kılıyor. Enerji, petro kimya, rafineri gibi yüksek profilli endüstriler için, daha yüksek seviyede izlenebilirliğı zorunlu kılan özel müşteri standartları da mevcut.

Geçmişte, üreticilerin kalite departmanlarının veya denetçilerin karşılaştığı izlenebilirlik sorunlarının çoğunun üretim öncesi aşamada olduğu gözlemlenmiştir. Üreticiler ise bu aşamada ortaya çıkan uygunsuzlukların giderilmesinde yüksek maliyetlere katlanmaktadır.

Tespit edilemeyen hatalar sonucundan zaman kayıpları, ciddi üretim hataları ve kazalarla karşılaşıldı.

Günümüzde güncel teknolojik değişimlerin getirdiğı bulut tabanlı, üst düzey takip sistemleri sayesinde, söz konusu sorunların oluşmadan önce veya meydana geldiğı anda tespit edilmesi mümkün olabilir.

Günümüzde güncel teknolojik değişimlerin getirdiğı bulut tabanlı, üst düzey ve izlenebilir sistemler sayesinde, söz konusu sorunların oluşmadan önce veya meydana geldiğı anda tespit edilmesi mümkün olmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Kaynak Takibi, İzlenebilirlik, Bulut Tabanlı Kaynak ve Kaynakçı Gözetimi, Bulut Tabanlı WPS/PQR Yönetimi, Bulut Tabanlı İş Takibi, Kaynakta Dijital Çözümler

### Abstract

The welding industry has become more complex as we advance through time, and traceability requirements are higher than ever. Today we have numerous international standards that enforce a certain level of traceability, and for the higher profile industries, such as energy or oil & gas, there are specific customer standards which enforce an even higher level of traceability.

In the past, it has been observed that many of the traceability issues faced by manufacturers, quality assurance departments or third-party auditors are in the pre-production phase. Manufacturers, on the other hand, are responsible for high costs and costs in the subsequent elimination of nonconformities occurring at this stage.

It has been reported that they endure the loss of time. As a result of undetected errors, major problems and accidents were encountered. Today, thanks to the cloud-based, high-level and traceability systems brought by current technological changes, it is possible to detect the mentioned problems before they occur or when they occur.

**Keywords:** Weld Surveillance, Traceability, Cloud Based Welding and Welder Surveillance, Cloud Based WPS/PQR Management, Cloud Based Work Progress Tracking, Digital Solutions at Welding

## Giriş

Endüstri 4.0 ve akıllı üretimdeki mevcut trendlerden biri de, üretim sistemlerinin tasarımı, üretim, depolama ve lojistik ile ilgili hususları dönüştürmek için yeni bilgi ve iletişim teknolojilerinin dahil edilmesidir. Şirketler pazarda avantaj elde etmek ve müşteri memnuniyeti sağlamak için üretim, bakım, insan kaynakları, finans, bilgi teknolojileri, araştırma ve geliştirme gibi farklı süreçleri optimize etmek için bir dizi teknolojik araç kullanmaktadırlar. İmalat sektöründe, teknoloji tabanlı uygulamaların amacı, şirketlerin, artan rekabetçi pazar koşullarında kendilerini konumlandırmaya olanak sağlayarak üretim süreçlerinde karşılaştıkları farklı zorluklara yenilikçi çözümler sunmaktır.

İzlenebilirlik için teknolojiler aracılığıyla sistematik olarak üretilen gerçek zamanlı bilgilerin elde edilmesi, sektörün dijital dönüşümü için temel faktörlerden biri olup, küresel rekabeti ve üretimde yenilikçiliği artırır. Endüstri 4.0'daki üretim operasyonlarında yüksek düzeyde otomasyona evrilmiş üretim süreçlerinin ve fiziksel üretim sistemlerinin ortaya çıkması nedeniyle, dokümantasyon sorunları tedarik zincirinin farklı aşamalarında daha önemli hale geldi. Varlık yönetimi, varlıkları kendi şirketleri veya tesisleri arasında paylaşan kuruluşlarda kritik bir faaliyet haline gelmiştir; yani bir bölgede birden fazla tesise sahip bir şirket, farklı lokasyonlarda farklı üretim süreçlerini gerçekleştirmek için ekipman veya araçları paylaşabilir. Hammadde ve/veya ekipman gibi varlıkların yanlış yönetimi, ürünün kalitesini düşürebilir veya ekipmanın kaybolmasına veya çalınmasına neden olabilir. Ancak yeni teknolojilerin kullanılmasıyla bu sorunlar çözülebilir. Varlıkların verimli ve gelişmiş bir şekilde yönetilmesinin yanı sıra gerçek zamanlı veriler sağlanabilir.

Sonuç olarak imalat aşamasında kaynak kalitesi izlenebilirliği problemini daha iyi çözmek için öncelikle kaynak kalite yönetimi iş sürecinde kalite taleplerinden, muayene yöntemlerine kadar kalite talep doğrultusunda içerik netleştirilmektedir. Ayrıca kalite izlenebilirlik bilgi sistemlerinin unsurlarını ve örnekleme aşamasını iş emirleri bazında sistematik olarak özetlenmektedir. Ardından, kaynak kalitesi denetiminin sırasıyla izlenebilirlik takibi ve sorunların geriye dönük takibi olmak üzere iki yönünü açıklayan kapsamlı bir kalite izlenebilirlik modeli sunulmaktadır. İlk olarak, kaynak kalitesi verilerinin anlık olarak takip edilerek istatistiksel veri olarak hazırlanması, ikinci hususta girileniş emri numarasına göre tüm üretim kontrol verilerinin hızlı bir şekilde sorgulanması ve kusur tespit aşamasının saptanması olarak süreç yürütülmektedir.

### 1. Materyal Yöntem

Kaynak endüstrisinde, dokümantasyon eksikliğinin, üretim takibinin ve uygun olmayan kaynak prosedürlerinin toplumumuzda önemli çevre sorunlarına yol açtığı bazı durumlar görülmektedir. Kaynak kusurlarından kaynaklanan iki örnek hikâye:

#### 1.1 San Bruno'da Boru Hattı Patlaması, Kaliforniya

Eylül 2010'da Kaliforniya'nın San Bruno kentinde Pacific Gas & Electric'e ait doğal gaz boru hattının neden olduğu yıkıcı bir patlama meydana gelmiştir. Patlama, 37 evin yanmasına ve trajik bir biçimde sekiz kişinin yaşamına mal olan bir yangına neden olmuştur. Patlama o kadar güçlüydü ki, yarattığı sarsıntı Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu tarafından 1.1 büyüklüğünde deprem olarak kayıtlara geçmiştir. Acil müdahale ekipleri ve itfaiye ekipleri, ilk patlamanın ardından birkaç saat boyunca çıkan yangına müdahale etmek için çaba sarfetmiştir. Yangına, patlayan bir gaz borusu sebep olurken, kuvvetli rüzgâr itfaiye ekiplerinin yangını kontrol altına almasını zorlaştırmıştır. İtfaiye ekipleri, karşılaştıkları zorluklara rağmen sonunda yangını kontrol altına almayı başarmışlardır. San Bruno İtfaiye Şefi Dennis Haag'a göre patlamanın ardından gazı kesmek 60-90 dakika arası sürmüştür. Patlama su isale hatlarını da etkilemiştir, bu durum itfaiyecilerin yangına müdahale etmek için ihtiyaç duydukları suyu dışardan sağlamalarına sebep olmuştur. Durum o kadar vahimdi ki, sivil vatandaşlar bile yaralıları ve yanık mağduru insanları hastanelere yetiştirmek için

yardıma koşmuşlardı. San Bruno boru hattındaki patlama, ciddi can ve mal kaybıyla sonuçlanan trajik bir olaydı. Olay yerinde yapılan teknik incelemelerin ardından alınan boru parçalarının incelenmesi sonucunda patlamanın meydana geldiği kısmın kaynaklı bölge olduğu ve parçalanmanın kaynaklı bölgedeki tüm dikiş boyunca ilerlediğini ortaya çıkarmıştır. Ocak 2011’de federal müfettişler boru hattında çok sayıda kusurlu kaynak saptadıklarını bildirmişlerdi. Boruların et kalınlığı değişiklik gösteriyordu ve bazı kaynaklar ana malzemeye tam olarak nüfuz etmemişti. PG&E, artan enerji talebini karşılamak için iletim kapasitesini artırdıkça kusurlu kaynak bölgeleri daha da zayıflamıştı. Boru hattı 1956 yılında kurulduğundan, o dönemde sorunu tespit edebilecek modern test yöntemleri mevcut değildi. PG&E’nin, boru hattının deprem nedeniyle arızalanma olasılığını azaltmak için San Andreas Fay bölgesinin bu bölgeye yakın kısmı Hat 132 üzerinde boru hattı değiştirme çalışması yaptığı ortaya çıkmıştı. Ancak 2010 yılında alan yetersizliğinden dolayı değiştirme işlemi durdurulmuştu. 13 Ocak 2012’de, Kaliforniya Eyaleti’nden bağımsız bir denetim, PG&E’nin güvenlik operasyonları için kullanılan bir fondan yasa dışı 100 milyon dolardan fazla para aktardığını belirten bir rapor yayınlamıştı. Fonun güvenlik operasyonları yerine yönetici maaşları ve ikramiyeler için kullanıldığı ortaya çıkmıştı. Sonuç olarak kaynak sorunları ve kurumsal kötü yönetim nedeniyle bu felaket meydana gelmişti. 50’li yıllarda ihtiyaçlar bugün ki kadar yüksek değildi ama bu gibi senaryolar nedeniyle artmaya başlamıştı.

## 1.2 Thunder Horse Platform Listesi

Dennis Kasırgası’nın Temmuz 2005’te Meksika Körfezi’ni vurmasının ardından, BP’nin ThunderHorse petrol platformunun üst güvertesi suya batmıştı. Kasırga vurmadan önce platform tahliye edilmişti ve bu herhangi bir su sızıntısının olmadığı anlamına geliyordu. Ancak yanlış monte edilmiş, 6 inç uzunluğundaki bir boru su altındaki balast tanklarının arasında serbestçe dolaşmasına sebep olmuştu. Bu, platformun batmasına neden olan olaylar zincirini başlatmıştı. BP, dalgaların yaklaşık 6.000 feet altındaki deniz tabanındaki bir petrol sahasının mimarisini yeniden inşa etmeye çalışmıştı. Platformun yeniden inşa edilmesi kritik önem taşıyordu. Çünkü şirket, Alaska’daki Prudhoe Körfezi gibi eskiden zengin olan sahalardaki rezervlerin azalması nedeniyle buradaki petrol akışına son derece ihtiyaç duyuyordu. 250 milyon dolarlık bir maliyete sahip olan iş, ekipmanı körfez tabanına koymaktan daha maliyetli ve daha riskliydi. 1,5 milyar varillik bir rezervin üzerinde yer alan Thunder Horse platformu ile günde 250.000 galona kadar petrol çıkarmayı hedefleyen firma körfezin en büyük üreticilerinden biri olmaya vaat ediyordu. Yeniden inşa süreci, daha önce bu derinliklerde hiç denenmemişti. Süreç, bir petrol sahasının sökülüp yeniden birleştirilmesini kapsıyordu. Zorluklardan biri, kilometrelerce uzunluktaki çelik boru parçalarının deniz tabanından kaldırılmasıydı. Borular, çok fazla gerilir veya bükülürse zayıflayabilir, ileri de sızıntı yapabilir ve bu da felaketle sonuçlanabilirdi. Su altından çıkarılan borularda yapılan incelemeler sonucunda sorunun temel nedeninin manifold ve borulardaki kaynaklardan sebep meydana geldiği saptanmıştı. Kaynaklar, hidrojen atomlarının kaynak havuzundaki çelik ve yüksek mukavemetli alaşım karışımında oluşturduğu kimyasal tepkimeler sonucu başarısız olmuştu. Hidrojen, metalin kırılğan hale gelmesine neden olmuştu ve testler sırasında yüksek su basınçlarında kaynak bölgelerinde yırtılmalar meydana gelmişti. Kaynak hatalarındaki sorunların saptanabilmesi için kaynak ve metalurji uzmanlarından oluşan bir bilirkişi heyeti kurulmuştu. İnceleme kapsamında, deniz tabanına yerleştirilmiş her malzemenin üreticileri ile temasa geçildi, deniz altındaki boruları kaplayan korozyon önleyici malzemeler ve yalıtımları test edilecek ve her bir kaynağın yakından incelenmesi yapılacaktı. Ekip, sorunun temel kaynağının kaynaklardan olduğunu ve ana nedenin de kaynak havuzunda kimyasal tepkimeye sebep olan hidrojenin, sorunun ana sebebi olduğunu ispatlamıştı. BP’nin Thunder Horse petrol sahalarda karşılaştığı kaynak sorunu, uygun kaynak tekniklerinin önemini ve kaynakların bütünlüğünü sağlamak için kapsamlı denetimlerin gerekliliğini ortaya koyuyor. Olay, aynı zamanda koşulların kaynakta kullanılan en kaliteli çelik ve alaşımlarını bile zorlayabileceği derin denizde petrol sondajıyla ilgili zorlukların ve risklerin



altını çiziyordu. Bu tür zorluklar, derin denizdeki petrol sondaj operasyonlarının güvenliğini ve güvenilirliğini sağlamak için yeni teknolojilerin ve süreçlerin geliştirilmesini gerektirmişti. Sonuç olarak Thunder Horse petrol sahalarındaki kaynak sorunu, kazalara ve can kaybına yol açabilecek arızaları önlemek için kapsamlı denetimlerin ve uygun kaynak tekniklerinin önemini hatırlatıyor. Aynı zamanda derin denizdeki petrol sondaj operasyonlarının güvenliğini ve güvenilirliğini sağlamak için yeni teknolojiler ve süreçler üzerinde sürekli araştırma ve geliştirme yapılması ihtiyacını vurguluyor.

## 2. İzlenebilirliğin Dönüşümü

• İzlenebilirlik, dokümantasyon ve uyumluluk uygulamaları yoluyla iyileştirilmiş kaynak kalitesi

- Saha ve ofis arasındaki kesintisiz iletişimin lojistik açıdan iyileştirilmesi
- Kaynak hatalarının temel nedenlerinin belirlenmesi ve ilgili risklerin azaltılması
- Doküman yönetiminde zaman tasarrufu

### 2.1 Durum

Braskem, Latin Amerika'nın en büyük dünyanın 8. petrokimya şirketidir ve 70'ten fazla ülkede müşterilerine hizmet vermektedir. Petrokimya endüstrisi yüksek düzeyde denetlendiği için Braskem uyumluluk için önemli miktarda zaman harcıyor ve kaynak kalitesi ile izlenebilirliğine son derece önem veriyor. Ancak, şirket gelişmesi gerektiğini biliyordu. Şirket sürekli olarak birçok operasyonu kolaylaştırmanın ve takip edebilmenin yollarını arıyordu ve sürdürülebilir kalkınma için teknoloji yatırımını da destekliyordu.

Braskem kalite ve izlenebilirlik sorunlarına çözüm bulabilmek için multidisipliner bir ekip kurdu.

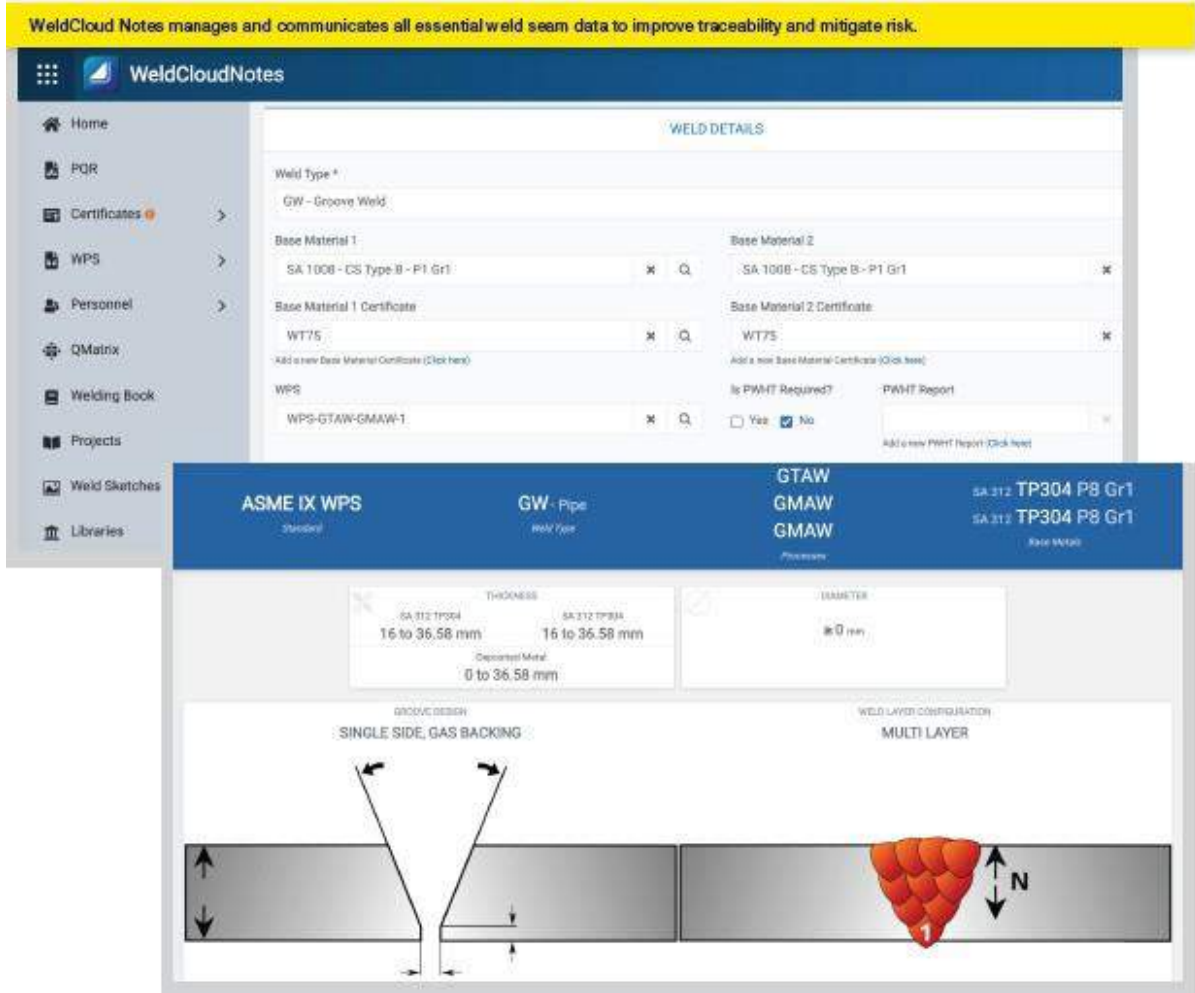
Global kaynak koordinatörünün desteğiyle mühendislik, bakım (kaynağı yöneten) ve bilgi teknolojilerinden oluşan ekip hızlı bir şekilde kuruldu. Bu departmanlar bir birlerinden bağımsız olarak faaliyet gösteriyor ve farklı lokasyonlarda çalışıyorlardı bu sebeple bir araya gelmeleri Braskem açısında büyük önem arz ediyordu.



**Resim 1:** Penetrant testi bir kusuru ortaya çıkardıktan sonra zayıf iletişim sebebiyle onarım için çok uzun zaman harcanıyordu.

## 2.2 Zorluk

Braskem kaynak hizmetleri için birçok taşeronla çalışıyor. Çoğu petrokimya şirketinde olduğu gibi, Braskem’de işlenen ürünleri izlemek ve süreci yönetmek için denetçilerden, kaynak mühendislerinden ve kalite kontrol personelinden oluşan iş gücünü istihdam ediyor. Bu ekip kaynak hizmetlerini sağlamak için yerel yükleniciler ve bakım ekipleriyle çalışıyor. Müşterilerinin izlenebilirlik yeterliliklerini karşılamak ve yerel düzenlemelerde (ASME BPCV) kullanım için onaylanmış uluslararası standart kuruluşlarına uymak için, Braskem ve yüklenicilerinin prosedür yeterlilik kayıtlarını (PQR’lar), kaynak prosedürü spesifikasyonları (WPS’ler), kaynakçı sertifikalarını ve tahribatsız muayene (NDT) sonuçlarını kayıt altında tutması gerekiyor. 2018’den önce, Braskem’de dokümantasyon büyük ölçüde manüel ve haftalık olarak, yapılan binlerce kaynağın dokümantasyonunu yönetmek için çok fazla zaman harcanıyordu ve bu beraberinde insan hatası riskini de getiriyordu. Sonuç olarak, yeniden işleme ve tamir oranı yüksekti. Bir parçanın tamiri veyeniden kaynak yapılması için iki günden fazla zaman harcanıyordu (305mm çap ve 19mm et kalınlığına sahip boru). Neyse ki Braskem, kaliteyi daha iyi bir şekilde sağlamak ve kaynak hatası durumunda sorumluluğu en aza indirmek için süreçlerin iyileştirilmesi gerektiğini biliyordu.



**Resim 2:** WeldCloud™ Notes, takip edilebilirliği artırmak ve riski azaltmak için tüm önemli kaynak dikişi verilerini yönetir ve iletir.

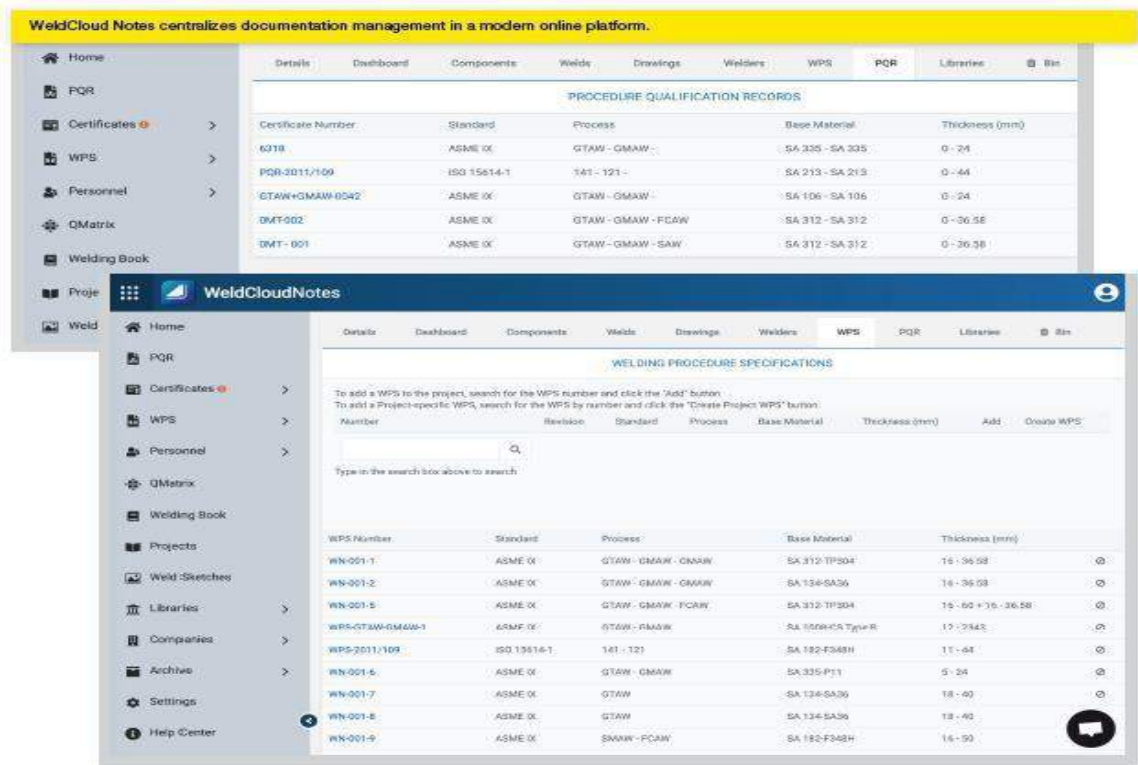
## 2.3 Çözüm

Braskem, WeldCloud™ Notes dijital yazılım platformunu seçti ve 32 adet lisans satın aldı.

WeldCloud™ Notes, kaynak mühendisleri, denetçiler ve kaliteli personel sayesinde dokümantasyon ile raporlama sürecini çevrimiçi uygulamalar üzerinden gerçekleştirmektedir. Bilgisayar ve mobil cihazlar üzerinden erişilebilen yazılım Braskem ve yüklenicileri tarafından kaynaklı malzemenin birleştirme, kaynak yapma, teste tabi tutma ve tamir işlemlerinin takip edilmesine olanak sağladı.

- PQR ve WPS belgelerini tek bir platform üzerinden yöneterek kalite ve uyumluluğuna sağlanması.
- Hızlı ve kolay bir aramayla tüm PQR, WPS ve WPQ bilgilerinin verimli bir şekilde incelenmesi.
- Tüm temel değişkenleri içeren bir PQR ve WPQ oluşturulması.
- Kalifikasyonların son tarihlerini takip edilmesi ve yaklaşan tarihler için planlamanın yapılarak iş kayıplarının önlenmesi.

WeldCloud™ Notes, inşaat kurallarına (ASME VIII, ASME B31.3, EN 1090), kaynak standartlarına (ASME IX, ISO 15614-1, ISO 9606, AWS D.11) ve kaynak kalite standartlarına (EN 3834) tam uyumluluk sağlar. Kullanıcıların bireysel kaynak sistemlerinin ve kaynakçıların üretkenliğini takip etmesine, kaynak dikişi verilerini kaydetmesine ve tüm kaynak makineleri filosunun kalibrasyon kayıtlarını yönetmesine olanak tanır. Çevrimiçi bir yazılım aracı olarak, bir projedeki ilgili her kişibilgilere erişebilir (yönetici tarafından belirlenen kısıtlamalarla), doğru PQR ve WPS'yi arayabilir, kaynak kayıtlarını tanıtabilir, üretimi takip edebilir ve tamamlanan tüm faaliyetler için raporlar yazdırabilir.



**Resim 3:** WeldCloud™ Notes, dokümantasyon yönetimini modern bir çevrimiçi platformda merkezleştirir.

WeldCloud Notes manages operator qualifications and also links NDT results to individual operators.

WeldCloudNotes

PROJECT WELDERS

Add Welder

Name	Stamp	Total Welds	Repairs (%)	Add Certificate	Remove Welder
Sample Welder 5	SW5	0	0 (0)	Add Certificate	Remove Welder
Sample Welder 1	SW1	0	0 (0)	Add Certificate	Remove Welder
Sample Welder 1	SW1	1	0 (0.0%)	Add Certificate	Remove Welder
James Pereira	JP-001	16	3 (18.8%)	Add Certificate	Remove Welder
Sample Welder 5	SW5	16	3 (18.8%)	Add Certificate	Remove Welder
José Almeida	B44	2	1 (50.0%)	Add Certificate	Remove Welder
Sample Welder 3	SW3	1	0 (0.0%)	Add Certificate	Remove Welder

**Resim 4:** WeldCloud™ Notes, operatör niteliklerini yönetir ve ayrıca NDT sonuçlarını ilgili operatörle ilişkilendirir

## 2.4 Daha İyi İzlenebilirlik – Daha İyi Kalite

Braskem, kaynak hataları ile ilişkili riskleri azaltmaya yönelik en iyi yaklaşımın, izlenebilirliği, dokümantasyonu kaynak alt yüklenicileriyle iletişimi artırmak için daha sağlam ve verimli bir sistem oluşturmayı gerektirdiğini fark etti. Bu işlevler doğası gereği birbiriyle bağlantılı olduğundan, başarı için bütünsel ve sistematik bir yaklaşım şarttır (bu işlevleri bağımsız olarak yönetmek yerine).

WeldCloud Notes'u uyguladıktan sonra olan kusurların %30'unun WPS'ye uymamaktan kaynaklandığını, diğer %70'inin ise kötü denetim, görsel inceleme veya NDT uygulamalarından kaynaklandığı saptandı.

Örnek olarak, operatörlerin çoklu paso yerine tek paso ile kaynağı daha hızlı tamamlamaya çalıştıkları, yanlış kaynak parametreleri kullandıkları ve ilerleme hızını artırdıkları anlaşılıyordu. Radyografi ile kusur tespiti yapılmadan önce süpervizör ve görsel inceleme ile hatalar tespit edilemedi.

WeldCloud™ Notes, WPS, tahribatsız test (NDT) yöntemlerini ve NDT belgelerini saha ekiplerinedoğru bir şekilde iletildiği için kalite sorunlarını giderdi. Braskem, daha sonra tüm test sonuçlarını belgelemek için WeldCloud™ Notes'u kullandı ve bunlar anında gerçek zamanlı değerlendirilmeye sunuldu.

WeldCloud™ Notes ile Braskem'in yeni süreci tam izlenebilirliğe olanak tanıyor ve kaynak işlerindeki tüm kayıtlara ulaşabiliyor. Operatörler artık kaynağın uygun şekilde yapılması ve prosedürlere uyulması gerektiğinin farkında. Operatörler açısından memnuniyet veren kısım işeyeniden tamir için yapılacak fazla çalışmaların önüne geçilmesi.

## 2.5 Daha Hızlı ve Daha İyi

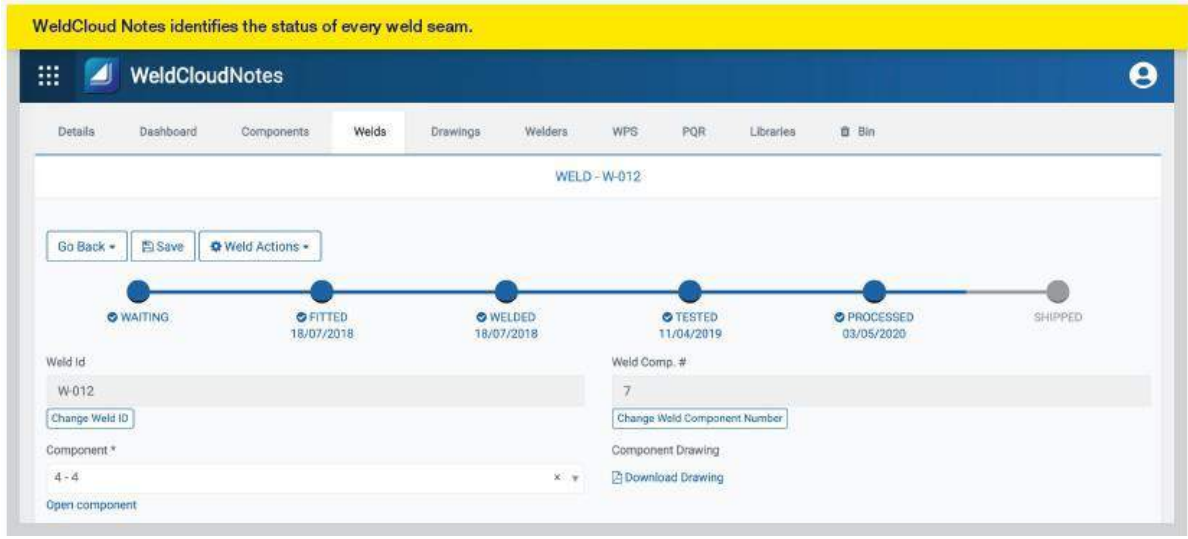
Petrokimya endüstrisi yüksek düzeyde denetlendiğinden Braskem mevzuat uyumluluğuna önemli miktarda zaman harcamaktaydı. Örnek olarak şirket, bir projeye ilgili tüm kaynak verilerini derleyen bir veri kitabı hazırlıyor. İzlenebilirlik için gerekli olsa da, daha önce bir veri kitabı hazırlamak Braskem'in tüm belgeleri yazdırmasını, taramasını, imzalamasını ve kaydetmesini, ardından dijital dosya olarak gönderilebilmesi için tek bir PDF'de birleştirmesini gerektiriyordu. Ortalama bir projenin dokümantasyonu 1.000 sayfadan oluşuyordu ve bilgilerin organizasyonun geneline dağılması ve birden fazla kişinin elinde bulunması nedeniyle derlenmesi günler alıyordu.



WeldCloud™ Note'dan önce, 600 kaynaktan oluşan bir işin veri kitabının oluşturulması bir ila iki gün sürüyordu; WeldCloud™ Note kullanımı sonrası 5 ila 10 dakika arasında tamamlandı.

WeldCloud™ Note ayrıca Brezilya endüstrisi için WPS'yi NDT ve diğer verilerle birleştiren IEIS (Kaynak Yürütme ve İnceleme Talimatı) adı verilen bir belge oluşturur. Daha önce derlenmesi günlersüren şeyin oluşturulması artık yalnızca birkaç dakika sürüyor.

WeldCloud™ Note aynı zamanda üretkenliği de artırır. Örneğin, pilot proje sırasında kaynak onarımlarının kapsamı tahminin neredeyse üç katıydı. Kaynak verilerindeki görünürlüğün artması nedeniyle Braskem ve yüklenici, onarım programına uymanın ek kaynaklar gerektireceğini fark etti. WeldCloud™ Note'da belgelenen ek çalışma ihtiyacıyla kaynak ekipleri, yönetim için ek kaynak ihtiyacını kolaylıkla gerekçelendirdi.



**Resim 5:** WeldCloud™ Notes her kaynak dikişinin anlık durumunu tanımlar

## 2.6 Güvenlik

Petrokimya endüstrisi siber güvenlik saldırılarına karşı aşırı duyarlıdır ve özel bilgilerini güvence altına almaktadır. ESAB'ın WeldCloud Notes verileri Microsoft Azure üzerinden yönetiliyor.

ESAB'ın WeldCloud teknolojisi ile kullanıcılar, verilerine yalnızca kullanıcı adı, karmaşık bir şifre ve çok faktörlü kimlik doğrulama yoluyla erişebilir ve kullanıcılarına veya kullanıcı gruplarına farklı erişim seviyelerini kolayca tanımlayabilir.

## 3. Sonuç

WeldCloud Notes, Braskem'in kaliteyi artırmasına yardımcı olurken riskleri azaltmıştır. Kaynak kalitesini artırmak için takip edilebilirlik, dokümantasyon ve uyumluluk uygulamalarından faydalandı. Kaynak hatalarının temel nedenleri tespit edildi ve ilgili riskler büyük ölçüde azaltılmıştır. Uygulama sayesinde taşeron firmaların performansı artmıştır. Braskem doküman yönetimi ile binlerce saat tasarruf sağlamıştır.

Braskem'den kaynak denetçisi Josias Thomas ' WeldCloud Notes ile kaynak süreçlerimizde tam izlenebilirliği sağlayıp, kullanılan bütün parametrelerin kayıtlarını sistemimizde tutmuş oluyoruz. Operatörlere de ilgili kaynak prosedürlerini uygulayarak tam uygunluğun sağlanmasında farkındalık kazandırıldı.'

“WeldCloud Notes yazılımı kaynak işlerine hızlı bir şekilde erişebilmemizi sağladı. Saha raporlarını beklememize gerek kalmaksızın, herhangi bir lokasyondaki kaynak sürecine hızlıca erişebiliyoruz.

Yazılım sayesinde her kaynak dikişi için sorumlu firma ve operatör bilgisini takip edebiliyoruz.” Luis Greggianin, Braskem kaynak mühendisi.

## Referanslar

[1] TELUKDARIE, A., BUHULAIGA, E., BAG, S., GUPTA, S., LUO, Z.: Industry 4.0 implementation for multinationals, *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 118, No.

August, pp. 316-329, 2018. doi:10.1016/j.psep.2018.06.030

[2] PETCHROMPO, S., PARLIKAD, A.: A review of asset management literature on multi-assetsystems, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol.181, No. January, pp. 181-201, 2019. doi:10.1016/j.ress.2018.09.009

[3] BASOLE, R., NOWAK, M.: Assimilation of tracking technology in the supply chain, *Transportation Research Part E*, Vol. 114, No. June, pp. 350-370, 2018. doi:10.1016/j.tre.2016.08.003

[4] FERNANDEZ-CARAMES., T.M., BLANCONOVOA, O., SUAREZ-ALBELA, M., FRAGALAMAS, P.: A UAV and Blockchain-Based System for Industry 4.0. Inventory and Traceability Applications, *Proceedings (International Electronic Conference on Sensors and Applications)*, pp. 1-7, 2019. doi:10.3390/ecsa-5-05758

[5] PITTMAN, P., ATWATER, Y.: *APICS Dictionary*, 15th Edition, APICS, Chicago. 2016

[6] LIMA, E. S., COSTA, A.: Improving Asset Management under a regulatory view, *Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 190, No. October, pp. 143-160. 2019. doi:10.1016/j.ress.2019.106523

[7] TANTIK, E., ANDERL, Y R.: Integrated data model and structure for the asset administrationshell in Industrie 4.0, *Procedia CIRP*, Vol. 1, p



tmmob  
makina mühendisleri odası

**KAYKON**  
AYNAK TEKNOLOJİSİ  
13. Ulusal Kongre ve Sergisi



Fronius İstanbul Elektronik Tic. Ve Servis Ltd. Şti.



tmmob  
makina mühendisleri odası

## KALİBRASYON



13. Ulusal Kongre ve Sergisi

### Ayrıntılı Sistem kontrolü

- / Voltaj, Amper ve tel sürme hız ölçümü
- / Doğru değer ve gerçek değer karşılaştırması.
- / Toleranslar açısından sonuç analizi.

### Uyum...

- / Uluslararası standartlarda kalite gereksinimleri (Ürün sorumluluk yasası, ISO 9000-ff, EN ISO 3834-2, EN 1090.
- / EN 50504 (Ark kaynağı ekipman validasyonu) ve IEC 60974-14 (Kalibrasyon, doğrulama ve tutarlılık testi)



Fronius İstanbul Elektronik Tic. Ve Servis Ltd. Şti.





tmmob  
makina mühendisleri odası



## TANIMLAR

### Kalibrasyon

...*Kalibrasyon, ölçüm cihazlarının ölçüm hatasının belirlenme işlemidir. (Örneğin, Güç kaynağı okuma).*

### Düzenli Denetim / Güvenlik Denetimi

... *Tehlikeleri azaltmak için belirli aralıklarla yapılan denetimler.*

**Kalibrasyon Aralıkları:**  
12 ayda bir.



Fronius İstanbul Elektronik Tic. Ve Servis Ltd. Şti.



tmmob  
makina mühendisleri odası



13. Ulusal Kongre ve Sergisi

## Diğer Tanımlar

### **Doğrulama**

/ Bu ayar değerinin (ayar noktası) beklenen sonuca yol açtığına kanıtıdır.

### **Ayarlama**

/ Bir ölçüm cihazının kullanılabilir bir çalışma koşuluna getirilmesidir.

### **Gerçek Değerler**

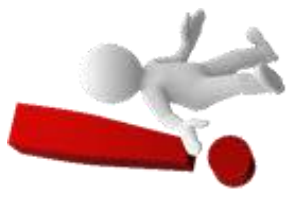
/ Güç Kaynağında görüntülenen değerlerdir.

### **Ayar Değerleri**

/ Ayarlanan değerler(operator göre)

### **Doğru Değerler**

/ Referans ekipmanına göre görüntülenen değer (Harici ölçüm cihazı)



Fronius İstanbul Elektronik Tic. Ve Servis Ltd. Şti.



tmmob  
makina mühendisleri odası



## Neden Kalibrasyon

- / **Kalite.**
  - / Kalite gereksinimlerinin artırılması ve kalite bilincinin artırılması.
- / **Kaynak prosesinin optimizasyonu.**
  - / Kaynak işlemlerinin performansını arttırmak.
- / **Aktarılabilirlik.**
  - / Cihaz ayarlarının kullanımı.
- / **Dökümantasyon.**
  - / Kaynak verilerinin dokümantasyonu ve izlenmesi.



Fronius İstanbul Elektronik Tic. Ve Servis Ltd. Şti.



tmmob  
makina mühendisleri odası



## Neden Kalibrasyon

Kalibrasyon, düzenlemeye tabii alanlardaki(otomasyon, robot kaynağı) belirli kalite gereksinimleri için önemlidir:

- / Karşılaştırılabilir ölçüm sonuçları kullanılarak kaynak proseslerinin objektif incelenmesi.
- / Yeniden üretilebilirlik.
- / Aktarılabilirlik.
- / Üretici Sorumluluğu.
- / Tutarlı sonuçlar elde etmek.
- / Uluslararası standartlarda kalite gereksinimleri.
  - / Ürün sorumluluğu yasaları.
  - / ISO 9000-ff.
  - / EN 1090.
  - / EN 3734-2

Düzenlenmemiş alanlarda özel kalite gereklilikleri olmayan kaynak üretimi için kalibrasyon gerekli değildir.



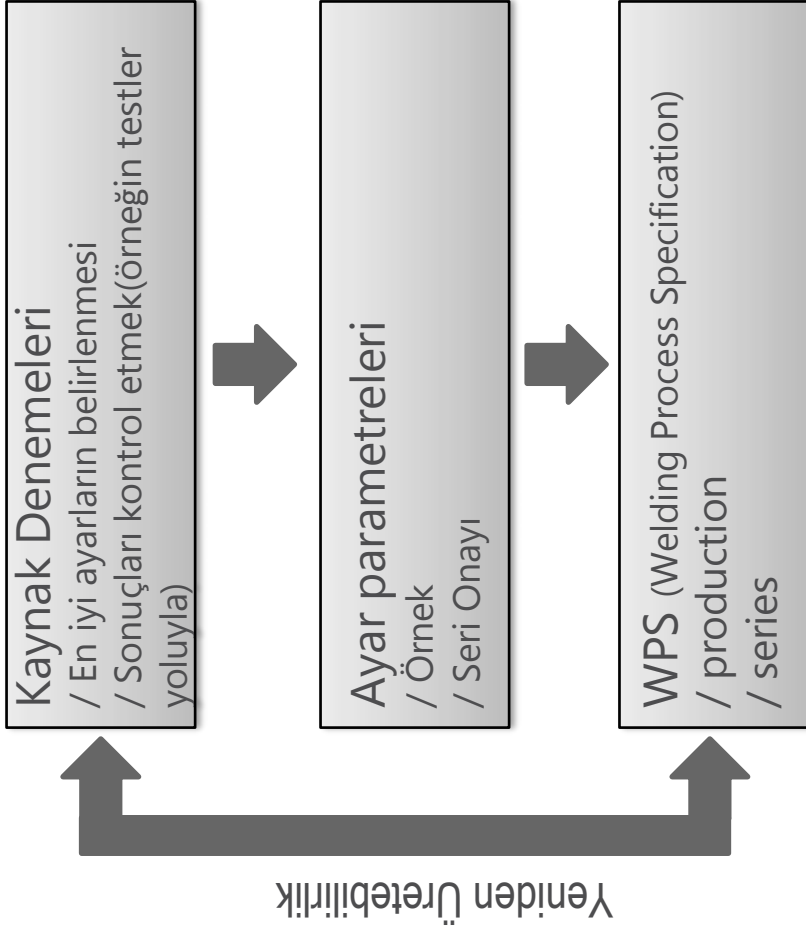
Fronius İstanbul Elektronik Tic. Ve Servis Ltd. Şti.



tmmob  
makina mühendisleri odası

## Neden Kalibrasyon?

YENİDEN ÜRETİLEBİLİRLİK



### Örneğin:

Kaynak için optimum parametrelerin düzenlenmesi  
Dikiş, örneğin Fronius tarafından.  
Parametre kontrolleri

Sonuç seri onayına uygun oluncaya kadar parametreler  
kullanılarak numuneler üretilir.  
Parametreler WPS'e girilir.

Üretimde parametrelerin  
kullanımı.



Fronius İstanbul Elektronik Tic. Ve Servis Ltd. Şti.



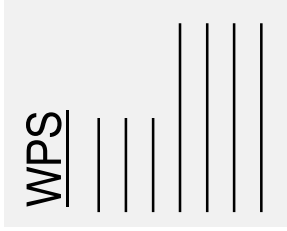
tmmob  
makina mühendisleri odası



## Neden Kalibrasyon

AKTARILIBILİRLİK

**Amaç:** Farklı güç kaynaklarında aynı parametrelerle aynı kaynak sonuçlarını elde etmek.



Örneğin:

- / WPS'de tanımlanan parametreler (örn. EN 288-2) farklı güç kaynaklarına atanmıştır.
- / Aynı kaynak sonuçları ancak tüm güç kaynaklarında aynı ayarların kullanılması durumunda elde edilebilir.



Fronius İstanbul Elektronik Tic. Ve Servis Ltd. Şti.



tmmob  
makina mühendisleri odası



## Neden Kalibrasyon?

ANA NEDENLER

- / Yeniden üretilebilirlik.
- / Aynı kaynak sonuçlarının elde edilmesi.
- / Uluslararası standartlarda kalite gereksinimleri.
- / Tanımlanan parametreler kalibre edilmiş diğer cihazlara aktarılabilir.
- / Üretici sorumluluğu.



Fronius İstanbul Elektronik Tic. Ve Servis Ltd. Şti.



tmmob  
makina mühendisleri odası



13. Ulusal Kongre ve Sergisi

# INTERVAL

- / Genellikle 12 aylık bir aralık tavsiye edilir
- / Üreticinin tavsiyelerine bağlı olarak daha sık aralıklarla doğrulama yapılması gerekebilir.
- / Her onarımdan sonra veya ölçüm cihazlarının çıkış değerlerini veya görüntülenen değerlerini etkileyebilecek her işlemten sonra. (UST, SMB, LSTMAG,TCP, akım sensörü, tel sürme motoru)



Fronius İstanbul Elektronik Tic. Ve Servis Ltd. Şti.





tmmob  
makina mühendisleri odası



# TOLERANS SINIFLARINA GÖRE EN 50504

## Standart Sınıf

### Değer Kesinlik

Akım ve Voltaj	$\pm 10\%$ gerçek değer in yüksek tutumun %100 ila %25'i arasında. $\pm 2,5\%$ en yüksek tutumun, en yüksek tutumun %25'inin altında.
Tel Sürme	$\pm 10\%$ gerçek değerden.

## Hassas Sınıf

### Değer Kesinlik

Akım	$\pm 2,5\%$ Gerçek değer in %100 ila %40' i arasında en yüksek tutum. $\pm 1\%$ en yüksek tutumun, en yüksek tutumun %40' inin altında.
Voltaj	$\pm 5\%$ Gerçek değer in %100 ila %40' i arasında en yüksek tutum. $\pm 2\%$ en yüksek tutumun, en yüksek tutumun %40' inin altında.
Tel Sürme	$\pm 2,5\%$ gerçek değerden.



Fronius İstanbul Elektronik Tic. Ve Servis Ltd. Şti.

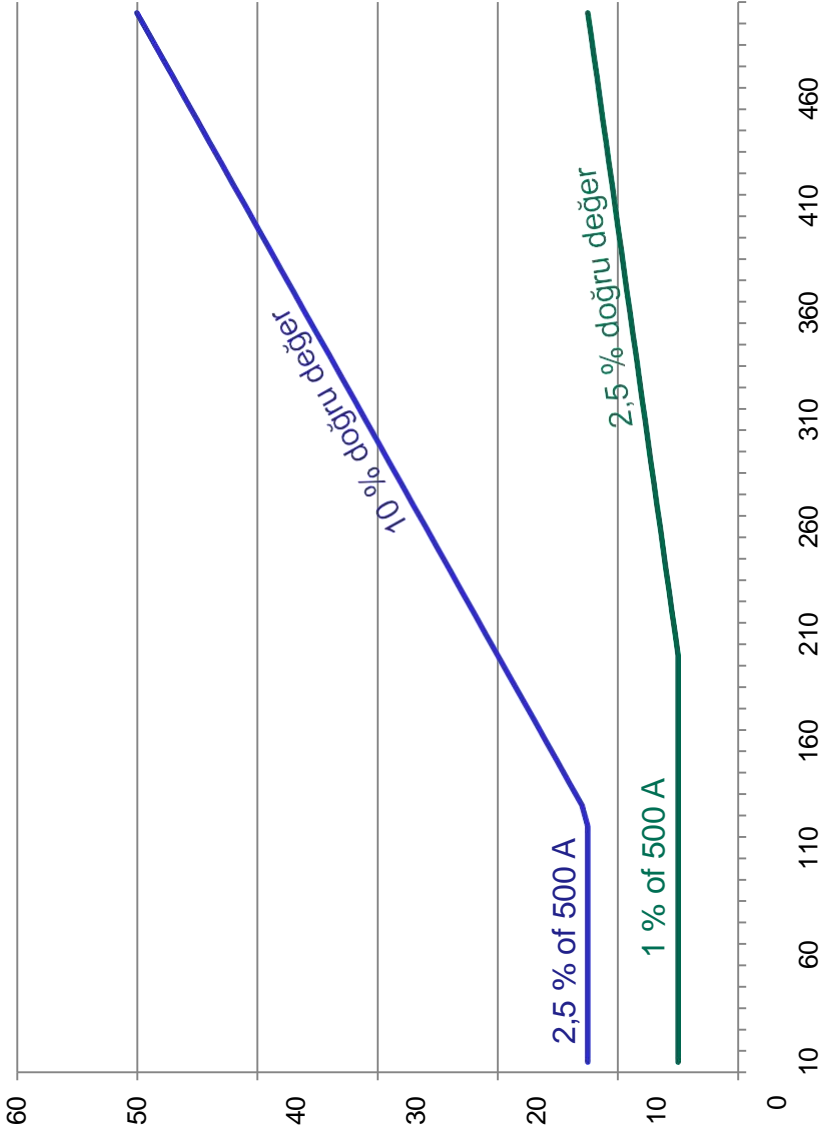


tmmob  
makina mühendisleri odası

**KAYKON**  
KAYNAK TEKNOLOJİSİ  
13. Ulusal Kongre ve Sergisi

## LIMITLER

Tolerans [A]



Kaynak Akımı[A]



Fronius İstanbul Elektronik Tic. Ve Servis Ltd. Şti.

## MÜŞTERİ NE ALIYOR?



CALIBRATION EN-6054	
PASSED	<input type="checkbox"/>
NOT PASSED	<input type="checkbox"/>
Calibration site:	
Calibrated by:	
Serial No:	<input type="checkbox"/>
Grade:	<input type="checkbox"/>
STANDARD	<input type="checkbox"/>
PRECISION	<input type="checkbox"/>
Fronius United Kingdom Ltd Malden Road, Kingston, MK10 0BC Milton Keynes.	

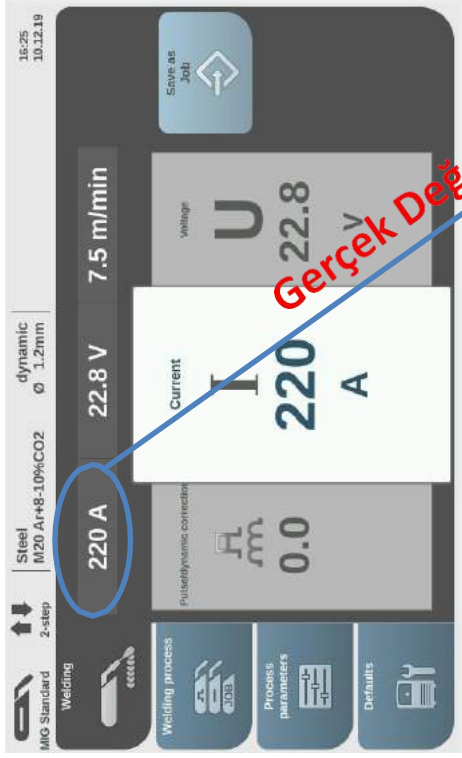
- Tüm sistem için kalibrasyon sonuçlarının belgelenmesi (sistem bileşenlerine bağlı olarak):

- Doğrulama etiketi dahil güç kaynağı/kaynakları için kalibrasyon protokolü.
- Doğrulama protokolü (kaynak hızını etkileyen eksenler) / eksenlerin dayanıklılık kontrolü.
- Orbital kaynak sistem/sistemlerinin validasyon protokolü.
- Gaz 30 için kalibrasyon protokolü.
- Plazma için kalibrasyon protokolü.



## Kesinlik

Sapma, görüntülenen gerçek değer ile gerçek değer arasındaki farktan kaynaklanır.



Command value [A]	RLoad [mOhm]	Voltage [V]	Measuring value [A]	M-Tol. [A]
165	120	21.13	164.53	4.125
220	96	22.66	219.49	5.5
220	96	22.69	219.5	5.5
165	120			4.125

Gerçek Değer

Doğru Değer

$$220 - 219.5 =$$
$$\text{Sapma} = 0.5 \text{ A}$$

Doğrulama





tmmob  
makina mühendisleri odası



## Kalibrasyon Değerleri EN50504!

! : EN 50504'e uygun kalibrasyon, henüz böyle bir standart bulunmadığından Avrupa dışındaki ülkelerde de sunulabilir!

### Doğrulama Dokümanları

Doğrulama dokümanında

- / kalibrasyon sonucu,
- / kalibrasyon tarihi,
- / kalibrasyon teknisyeni,
- / Ekipmanların seri numaraları,
- / Kalibrasyon sınıfı (standart / hassas),
- / Kalibrasyon geçerlilik süresi,
- / Fronius'un adresi

Belgelendir.



Fronius İstanbul Elektronik Tic. Ve Servis Ltd. Şti.



tmmob  
makina mühendisleri odası



## EN 50504

### Standart ne diyor?

EN 50504 kalibrasyonun nasıl yapılacağını söylüyor. Ark kaynağı güç kaynakları, tel besleyiciler, kaynak ekipmanı için geçerlidir ancak ark ateşleme ve stabilizasyon ekipmanı için geçerli DEĞİLDİR.

### Standarttan alınan bilgiler

#### 6 Doğrulama ve kalibrasyon sıklığı

Kaynak ekipmanı yıllık aralıklarla valide edilmeli veya kalibre edilmelidir... Üreticinin tavsiyesine, kullanıcının gereksinimlerine veya performansının düşük olduğuna inanmak için bir nedenin bulunduğu yere bağlı olarak daha sık aralıklarla doğrulama veya kalibre etmek gerekli olabilir. ekipman bozulmuş olabilir. Doğrulama, doğrulamayı etkileyebilecek herhangi bir onarım veya işlemden sonra daima gerçekleştirilmelidir.

### Kalibrasyonun ne kadar düzenli yapılması gerekiyor?

Standarda göre, ekipman üreticisinin tavsiyeleri dikkate alınmadığı veya üretim sürecine bağlı olarak şirketin kendisi daha kısa aralıklar belirtmediği sürece kalibrasyon yılda bir kez yapılmalıdır. Bu nedenle daha kısa aralıklar olabilir.



Fronius İstanbul Elektronik Tic. Ve Servis Ltd. Şti.



tmmob  
makina mühendisleri odası



EN 50504

## Değişen norm

Bu Avrupa standardının 2020 · 'de IEC 60974-14 olarak değiştirilmesiyle uluslararası bir standart haline gelmesi bekleniyor..

**Kısa bir açıklama:** EN 50504'ün öncüsü ENV 50184'tü ve hâlâ belgelerde bahsedilmektedir (örneğin, 2005 EN ISO 17662'de). Kabaca söylemek gerekirse bu standartların hepsi aynı konuyu ele alıyor ve daha da geliştirildi.

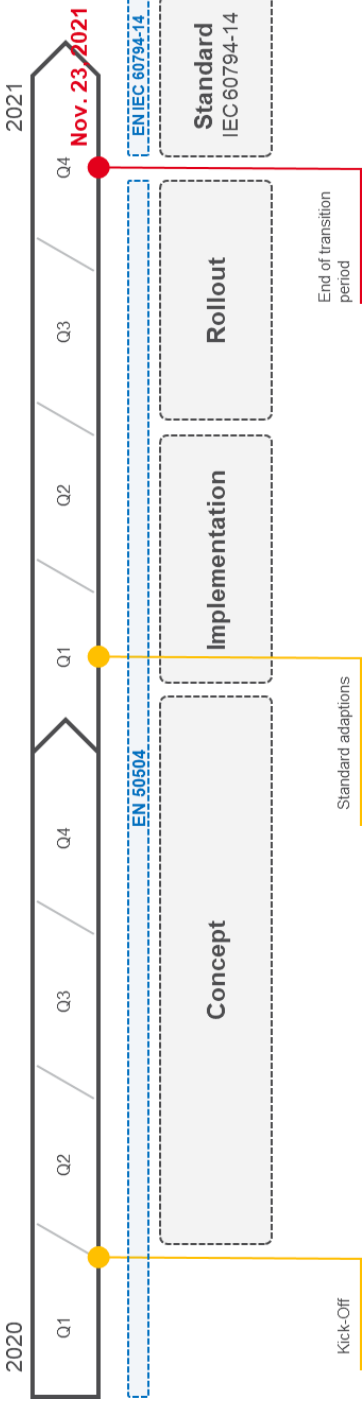


Fronius İstanbul Elektronik Tic. Ve Servis Ltd. Şti.



## Yeni Standart: EN IEC 60974-14

**EN50504.** EN IEC 60974-14 uluslararası standardı haline gelir.  
**Dönem.** Geçiş döneminin sonu 23 Kasım 2021 Yürürlük tarihinden itibaren kalibrasyonlar için yeni standardın uygulanması gerekmektedir.





tmmob  
makina mühendisleri odası



## Yeni Standart: EN IEC 60974-14

### Tel

Telin, Fronius tel ölçer tarafından standarda göre kalibre edilmesi gerekir.

### Ölçüm noktalarının değiştirilmesi

Yeni standart nedeniyle, bireysel akım kaynağı türlerinin ölçüm noktaları tamamlandı ve uyarlandı.

### Protokoldeki değişiklikler

Yeni protokol değişiklikleri düzenlendi



Fronius İstanbul Elektronik Tic. Ve Servis Ltd. Şti.



tmmob  
makina mühendisleri odası



\*Bu çalışma, sunum şeklinde düzenlendiğinden bildiri formatına dönüştürülmeden kitaba alınmıştır.



# TOFAŞ

TÜRK OTOMOBİL FABRİKASI A.Ş.

## PUNTA DİRENÇ KAYNAĞI PARAMETRE İZLENEBİLİRLİK SİSTEMİ

TOFAŞ TÜRK OTOMOBİL FABRİKASI A.Ş.

Halil ÖZDEMİR

Gövde (Kaporta) Kaynak Proses Uzmanı/ BIW Welding Process Specialist

halil.ozdemir@tofas.com.tr

0(549) 694 8503

# PUNTA DİRENÇ KAYNAĞI PARAMETRE İZLENEBİLİRLİK SİSTEMİ

*Halil ÖZDEMİR*

TOFAŞ TÜRK OTOMOBİL FABRİKASI A.Ş. – BURSA

## ÖZET

Endüstriyel üretim süreçlerinde ince kesitli metallerin birleştirilmesinde sağladığı birçok avantajdan dolayı, otomotiv endüstrisinde de yaygın olarak punta direnç kaynağı teknolojisi kullanılmaktadır. İşletmemizde yaklaşık 1300 adet robotik ve manuel kaynak ekipmanı bulunurken bir günde ortalama 5 milyon punta kaynak işlemi yapmaktayız. Kaynak proseslerimizin yüksek verimlilik ve kalitesini sağlamak için ortaya çıkan işletme maliyetlerimizi elimine ederek rekabet gücümüzü arttırmak ve güvenilir, sürdürülebilir prosesler oluşturulması amaçlanmıştır. Kaynak parametrelerinden elde edilen verileri, işletme tecrübesi ve dijital araçlar kullanarak kaynak proses performansının takip edilebildiği, oluşturulan akıllı algoritmalar sayesinde erken uyarı sistemlerinin oluşturulduğu ve şasi bazlı kaynak verilerinin izlenebildiği bir dijital platform oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Punta Kaynak Teknolojisi, Parametre İzlenebilirlik, IOT, I4.0, Optimizasyon, Sürdürülebilirlik

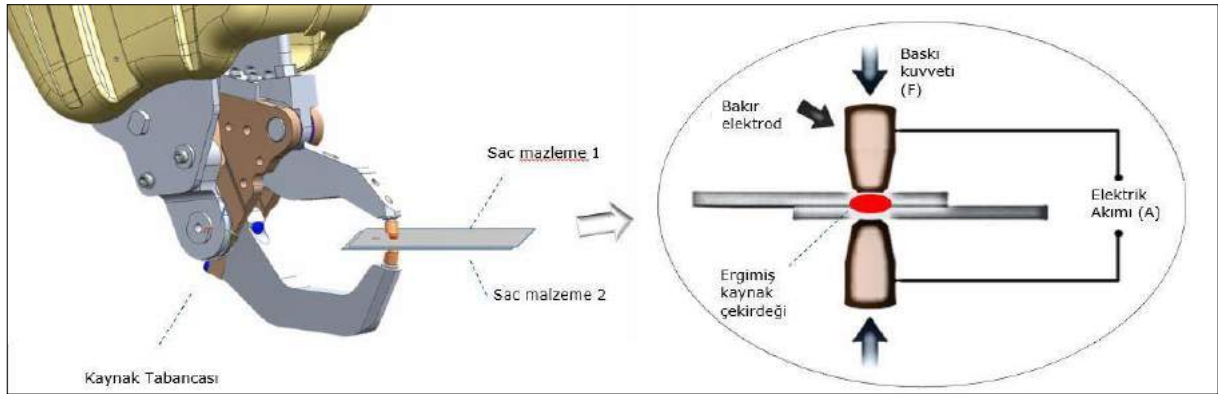
## ABSTRACT

Spot resistance welding technology is widely used in the automotive industry due to its many advantages in joining thin-section metals in industrial production processes. We have approximately 1300 pieces of robotic and manual welding equipment in our plant and we perform an average of 5 million spot welding operations per day. In order to ensure the high efficiency and quality of our welding processes, it is aimed to increase our competitiveness by eliminating our operating costs and to create reliable and sustainable processes. A digital platform has been created where welding process performance can be monitored using data obtained from welding parameters, operating experience and digital tools, early warning systems are created with smart algorithms and chassis-based welding data can be monitored.

**Keywords:** Spot Welding Technology, Parameter Traceability, IOT, I4.0, Optimization Sustainability

## 1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisinde sac birleştirme teknolojilerinin içerisinde sağladığı yüksek dayanım, optimum ısı girdisi ile geometri sürekliliği ve dolgu malzemesi gerektirmemesinden dolayı ekonomi ve kaynak hızı avantajlarından dolayı punta kaynak teknolojisi en yaygın olarak tercih edilen bir kaynak yöntemidir. Punta kaynak işlemi bilindiği üzere joule yasası esasına göre gerçekleşmektedir. Prosesi basitçe tariflemek gerekirse, kaynak yapılacak sac malzemeler arasında oluşan direnci kontrol edebilmek amacıyla üzerine bakır elektrodlar vasıtasıyla bir kuvvet uygulanır. Sac malzemeler arasında oluşan kısmi geçiş direnci üzerinden akım geçirildiğinde oluşan ısının etkisiyle sac malzemeler eriyip daha sonra tekrar soğutulması sonrası kaynak çekirdeği oluşur. Pnömotik, servo kontrollü, AC ve MFDC teknolojileri içeren kaynak ekipmanları göz önünde bulundurulduğunda kaynak işlem için belirli uyarlanabilir parametreler kullanılmaktadır. Bu parametrelerin doğru bir şekilde izlenmesi ve ayarlanması, ürün kalitesini artırabilir, enerji ve yardımcı malzeme kullanımı optimize edilebilir ve üretim süreçleri daha güvenilir hale getirebilir.



Şekil 1. Punta Direnç Kaynağı Oluşumu

İşletmede bir günde yaklaşık olarak beş milyon punta kaynak işlemi uygularken ürünlerin yüksek kalite ve işletmenin maksimum verimlilik sağlaması amacıyla ortaya çıkan kayıpları tanımlayarak, oluşturulan takip süreçleri ile iyileştirme metotları ile atak edilmektedir. Ayrıca bu kayıp verilerini sayısallaştırmak ve bu süreçleri yönetmek için işletme işçilik giderleri meydana gelmektedir. Ortaya çıkan kayıpları değerlendirecek olursak;

1. Kalite ve kontrol süreç işçilikleri
2. Tamir ve revizyon işçilikleri
3. Kaynak proses parametre takip işçilikleri
4. Üretim hattı kısa duruş ve arıza duruşları
5. Uç elektrod ömür kayıpları
6. Uç elektrod kesici ömür kayıpları
7. Kaynak pensesi komponentleri ömür kayıpları
8. Planlı periyodik bakım işçilikleri
9. Enerji kayıpları

gibi başlıca kayıplar oluşmaktadır.

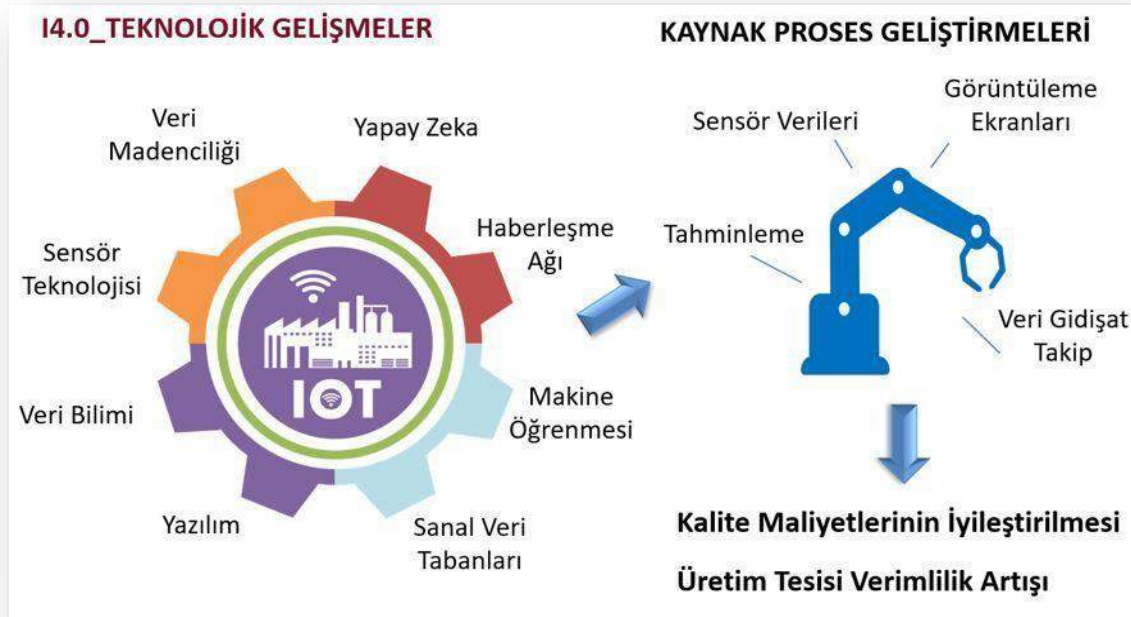
## 2. YÖNTEM

Günümüz rekabet koşullarında yüksek kalite, verimlilik ve esnekliğe sahip endüstriyel süreçler oluşturmak için proses parametre verilerini değere dönüştürmek adına endüstri 4.0 araçlarından faydalanmak zorunluluk haline geldiği yadsınamaz. Bu bağlamda üretim hatları kaynak ekipmanlarından toplanan uygun verileri sağlıklı bir şekilde toplamak, veri tabloları haline dönüştürebilmek ve anlamlı halde görüntüleyebilmek için uygun bir IOT platform mimarisi oluşturulmasına ihtiyaç vardır.

## 2.1 Kaynak Ekipmanlarında Oluşan Verilerin İncelenmesi ve Yapılan Örnek Çalışmaların Değerlendirilmesi

Kaynak ekipmanlarında oluşan verileri görüntüleme ve izlenmesi ile ilgili ekipman üreticilerin ve kullanıcıların yapmış olduğu girişimler ve patentler mevcuttur. Mevcut ekipmanların teknolojik seviyesine göre yöntemler değişiklik gösterebilmektedir.

Yapılan çalışmalarda ağırlıklı olarak kaynak ekipmanı üzerine ikincil sensörlerin ilave edilmesi (akım bobini, kuvvet sensörleri, sayıcılar, su debimetre, sıcaklık ölçüm problemleri) ve bu analog verileri okumaya yarayan mikro denetçiler kullanarak ekipman ve proses üzerindeki sapmaların izlenmesi hedeflendiği görülmektedir. Büyük hacimli bir kaynak atölyesinde her ekipmanda ilave sensörler devreye almak ve izlenebilirlik oluşturmak fizibilite anlamında değerlendirilmesi gereken önemli bir faktördür.



Şekil 2. Endüstri 4.0 Geliştirmelerinin Etkisi ile Kaynak Ekipmanlarında Yapılan Çalışmalar

## 2.2 Proje Verilerin Belirlenmesi ve IOT Platformunun Oluşturulması

Punta kaynak işlemi uygulanabilmesi için Akım, Kaynak süresi, Kuvvet, Soğutma süresi Pense elektrod kapatma zamanı ve açma zamanı gibi temel ana parametreler kullanılır. Kaynak performansını arttırmak ve optimizasyon yapabilmek için kullanılan kaynak kontrol cihazlarının özelliklerine göre değişen bazı yardımcı parametrelerde kullanılmaktadır.

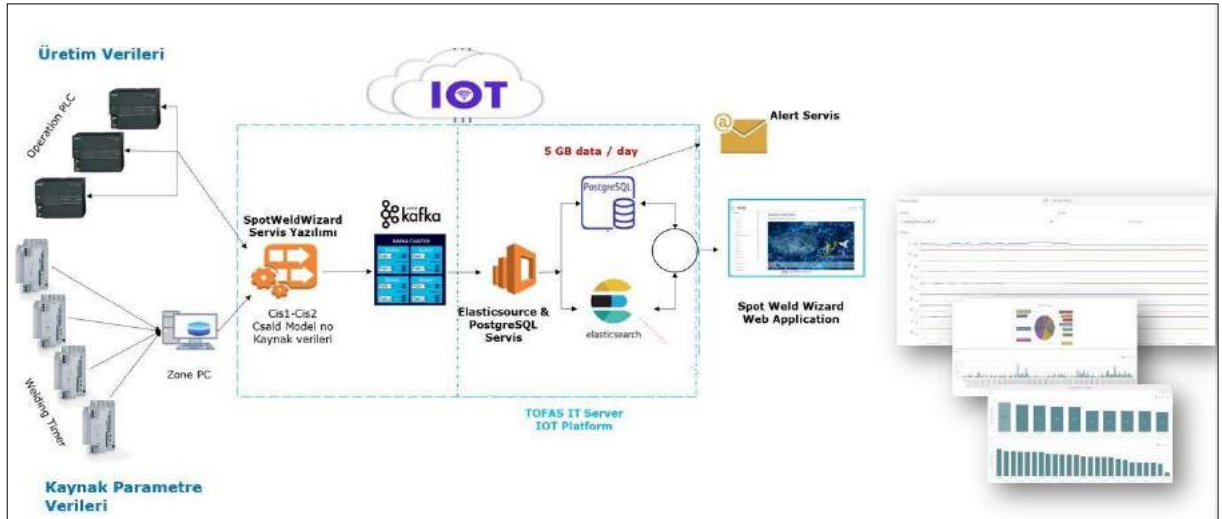
Projemizi devreye aldığımız kaynak kontrol üniteleri, punta kaynak işlemi öncesinde belirlenen parametreler ile kaynak sonrasında oluşan parametre verilerinin kıyaslanabildiği ve lokal olarak görüntülenebilme yeteneğine sahip ekipmanlardır. Dolayısıyla proje mimarisi, bu verileri göz önünde bulundurduğumuzda sensör vb. ilave ekipman kullanımına ihtiyaç duyulmayacak şekilde sadece parametre verileri ile gerçekleştirilecek şekilde tasarlanmıştır.





Şekil 3. Projede Değerlendirilen Etkili Girdi Parametreleri

Verileri IOT platformuna taşımak için kaynak kontrol ünitelerinin, lokal hat bilgisayarlarının ve sunucuların arasında veri akışını sağlayacak bir veri ağ bağlantısına ihtiyaç bulunmaktadır.

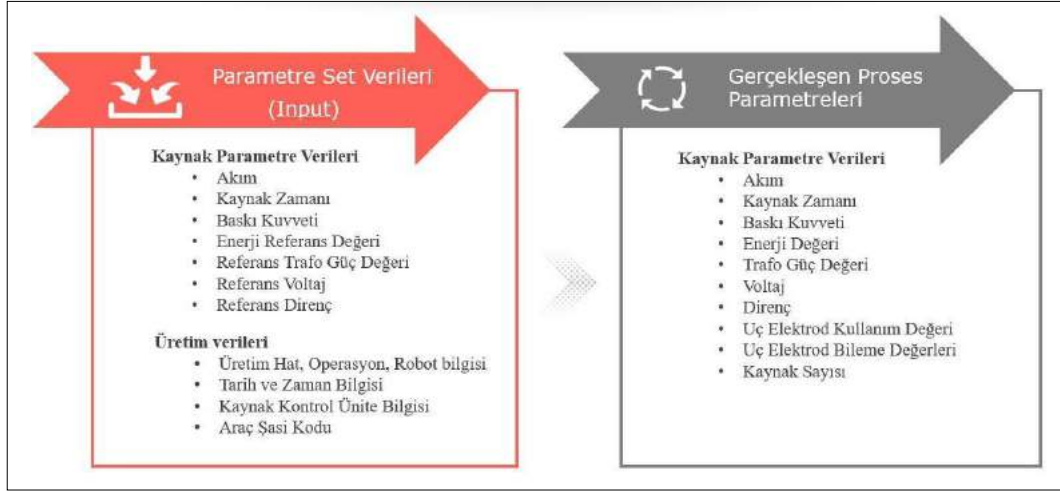


Şekil 4. Proje Mimarisi

Kaynak kontrol ünitelerindeki parametre verilerini, veri tabanına aktarmak ve izlenebilirlik sağlanması amacıyla üretim operasyonlarındaki PLC ler üzerinde bulunan ürün verileri ile uyumlu olacak şekilde veri tablosuna toplamak amacıyla bir servis yazılımı oluşturulmuştur. Platform üzerinde oluşan büyük veri akış performansını arttırmak adına farklı endüstri 4.0 araçları kullanılmıştır. Verileri anlamlı bir halde görüntülemek için web tabanlı bir arayüz ve oluşturulan akıllı algoritmalarla uyarı alabilmek için erken uyarı servisleri oluşturulmuştur.

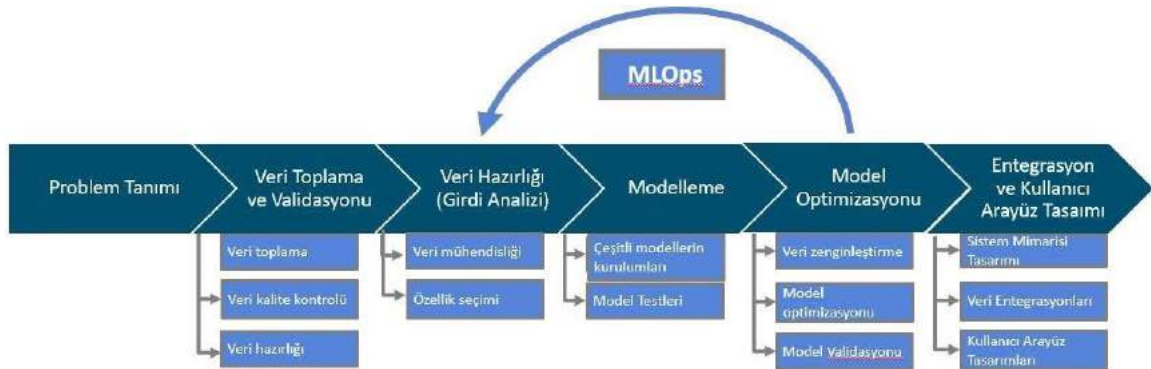
### 2.3 Verilerin Değerlendirilmesi

Kaynak işlemi öncesi girdi parametre verileri ile proses sonrası gerçekleşen parametre değerlerini karşılaştırmak izlenebilirlik sağlamakla birlikte proses kayıplarını manuel işgücü kullanmaya gerek kalmadan doğru bir şekilde sayısallaştırarak takip edilmesini sağlamaktadır.



Şekil 5. Gerçekleşen Proses Parametreleri

İzlenebilirlik sistemi ile referanstan sapma değişimlerini, kötüye gidiş trenlerini takip etmenizi ve algoritmik düzensizlik uyarıları ile proseslerinizi kontrol altında tutabilmenize ve işletme giderlerini minimum seviyeye çekmenize olanak sağlamaktadır. Kaybın kalan kısmına atak edebilmek için proses veri değişkenliklerinden yola çıkarak olası bir kaybın önceden tahminlenmesi planlama açısından önem arz etmektedir.

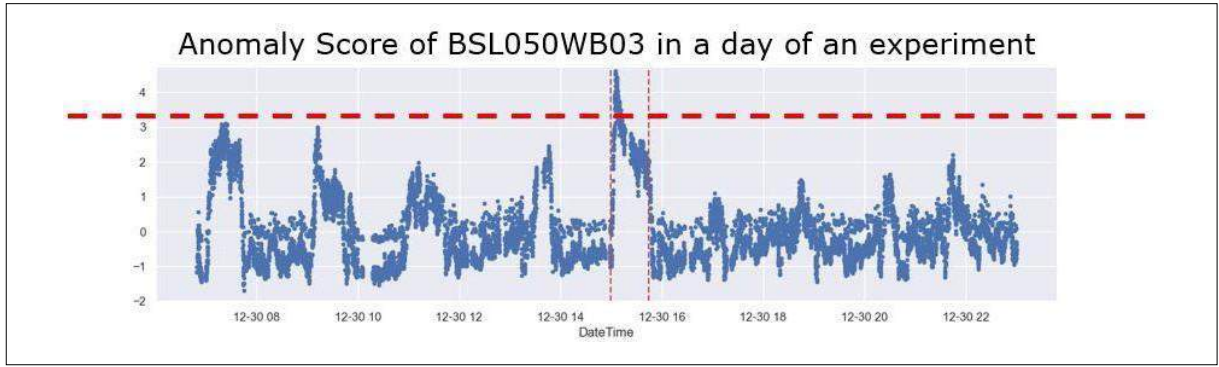


Şekil 6. Uygulanan Makine Öğrenmesi Metodolojisi

Makine öğrenmesi modelleri kurabilmek için etiketlenmiş uygun ve uygun olmayan kaynak verileri gerekmektedir. Bunun için iki yöntem kullanılabilir.

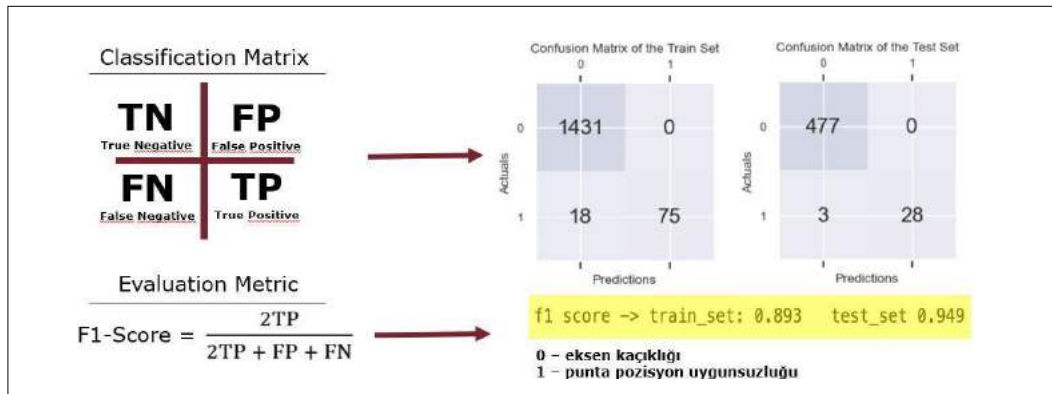
1. Ekipmanı manipüle ederek kaynak kusuru (kayıp) oluşturmak,
2. Verileri düzenli takip ederek kayıp yaratan verileri etiketlemek.

Ekipmanda oluşan anomalileri makine öğrenmesi ile tespit edebilmek için planlı olarak kaynak pensesinde uç elektrod eksenleri bozulmuştur. Seri imalat şartlarında oluşan eksen kaçıklığı, punta kaynak işleminde çapak oluşumuna, punta deformasyonuna, dolayısıyla kaynak kusurlarına ve kalite kayıplara sebep olmaktadır. Bu esnada gerçekleşen parametre verileri “autoencoders” derin öğrenme modeli ile değerlendirilmiştir. Bu model bütün girdilerin birbirleriyle olan ilişkilerini takip ederek verinin normalden sapma miktarını (Anomaly Score) belirleyebiliyor. Oluşan bu Anomaly Score değeri, birçok parametrenin birbirleri ile olan etkileşiminden oluşan bir değerdir. Ekipmanda yapılan manipülasyonun kaynak parametre verileri ile tespit edilebilirliği ortaya konulmuştur.



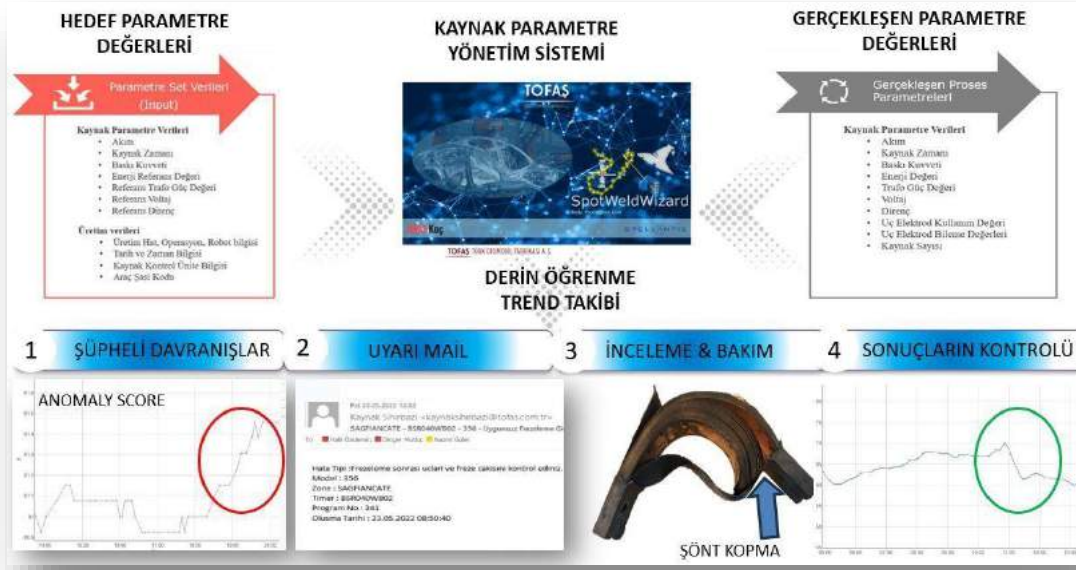
Şekil 7. Manipule Edilmiş Ekipman Parametre Sonuçlarından Elde Edilen Anomaly Score Gidişatı

Aynı manipülasyon sonucu ortaya çıkan kaynak kusurlarını (punta deformasyonu, çapak) tahminleyebilmek için paralelinde veriler farklı bir makine öğrenme modeli olan Logistic Regression modeli ile değerlendirilmiştir. Logistic Regression seçilmesinin sebebi, model açıklanabilirliği ve parametrelerin önem sıralaması sunabilmesidir.



Şekil 8. Eksen Kaçıklığı ve Punta Pozisyon Uygunsuzluğunun Tahmin Sonuçları

Uygulanan model ile ekipman eksen kaçıklığı problemi %89,3, punta pozisyon uygunsuzluğu %94,9 gibi yüksek bir oranda başarı ile tespit edilmiştir.

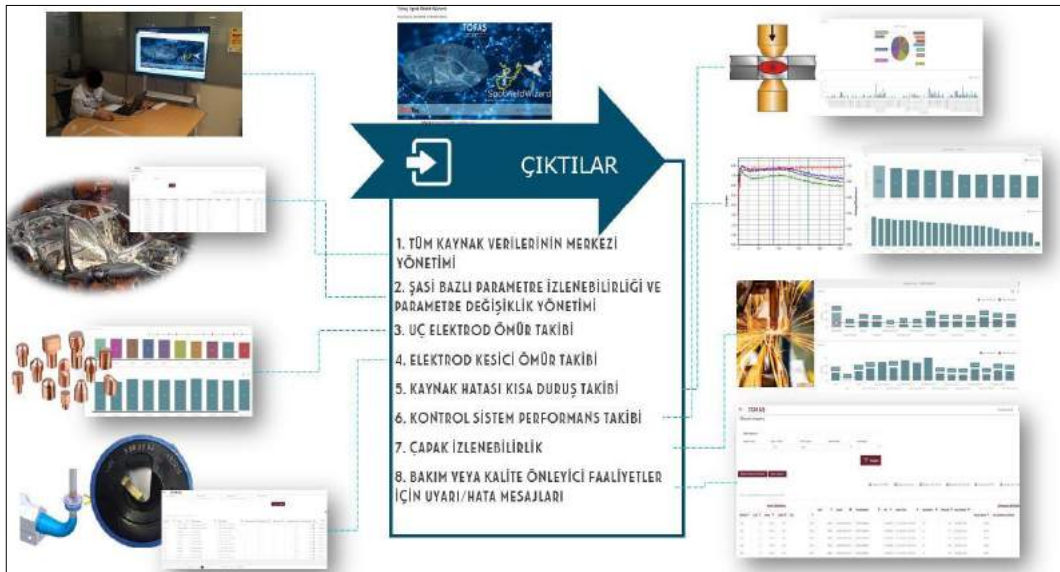


Şekil 9. Derin Öğrenme Sonucu Elde Edilen "Anomaly Score" Trend Takibi ve Proje Mimarisi

### 3. SONUÇLAR

Birbirinden bağımsız kaynak ekipmanlarındaki verileri büyük bir veri ağı ve geliştirilen yazılım ile merkezi platforma taşıyarak günlük ortalama 3,5 milyon kaynak verisi elde edilmektedir. Elde edilen verilerin değere dönüştürmesi ile işletme giderlerine olan pozitif etkisini sıralayacak olursak;

1. Şasi bazlı parametre izlenebilirliği sayesinde geçmişe dönük verilerden vaka analizleri yapılabilmektedir.
2. Öncesinde hat ve ekipman bazlı yapılan parametre analizleri artık merkezi bir platformdan yapılabilir duruma gelmiş ve proses performans takibi için manuel olarak oluşturulan rapor ve analiz işçilikleri elimine edilmiştir.
3. Yapılan parametre değişikliklerinde gelen uyarılar sayesinde oluşacak olumsuz durumların önüne geçilmiş ve parametre yönetimi kontrol altına alınmıştır.



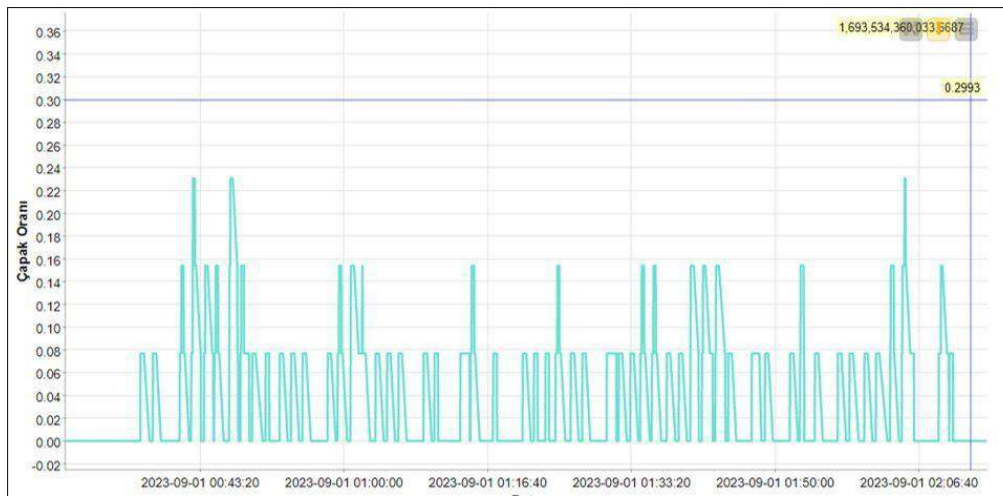
Şekil 10. Proje Çıktı Örnekleri

- Verilerden elde edilen değer sayesinde uç elektrod tüketimi takip edilebilmiş, olası kayıpların önüne geçilmiş ve ortaya çıkan optimizasyon çalışmaları sonucunda yardımcı malzeme sarfiyatı iyileştirilirken, uç değişimi kaynaklı kısa duruşlar iyileştirilerek hat verimlilikleri artırılmıştır.



Şekil 11. Hat ve Robot Bazlı Uç Elektrod Ömür Takip Arayüzü

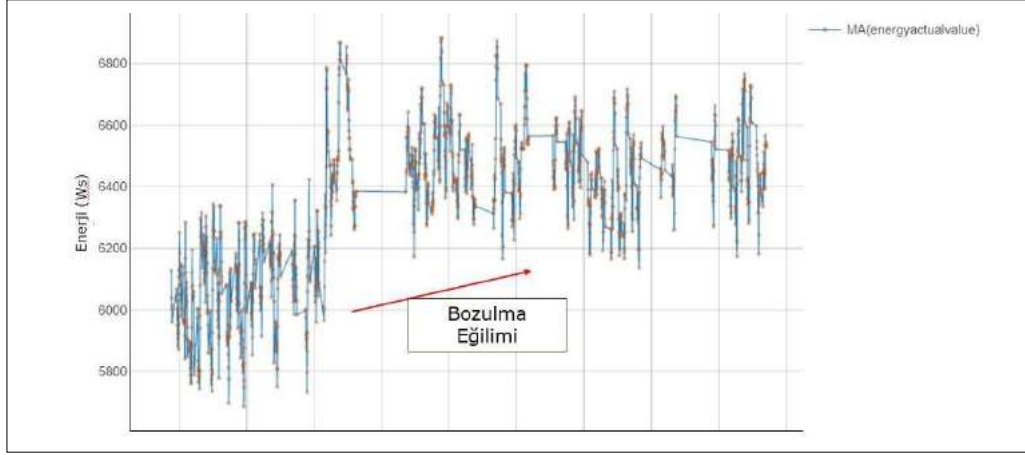
- Proseste uç elektrod bileme işlemi için kullanılan kesicilerin maksimum ömür ile tüketimi optimize edilmiştir.
- Kaynak kontrol ünitesi gerçekleşen parametre kontrol limitleri optimize edilmesi sağlanarak, kaynak hatası kaynaklı kısa duruşlarda majör iyileştirme sağlanmış ve hat verimlilikleri artırılmıştır.
- Kaynak kontrol ünitesi kritik ölçüm componentleri izlenerek devre dışı kalma durumlarından oluşacak kayıpların önüne geçilmiştir.
- Kaynak esnasında oluşan çapak oluşumu verilerden tespit edilerek, program bazlı iyileştirme fırsatları elde edilmiştir.



Şekil 12. Hat ve Robot Bazlı Çapak Oranı Takip Arayüzü



9. Verilerden elde edilen enerji sarfiyat takibi ile ekipman, ürün ve proses anomalileri tespit edilerek daha öncesinde görülemeyen kayıplar ortaya konarak iyileştirme fırsatları elde edilmiştir.



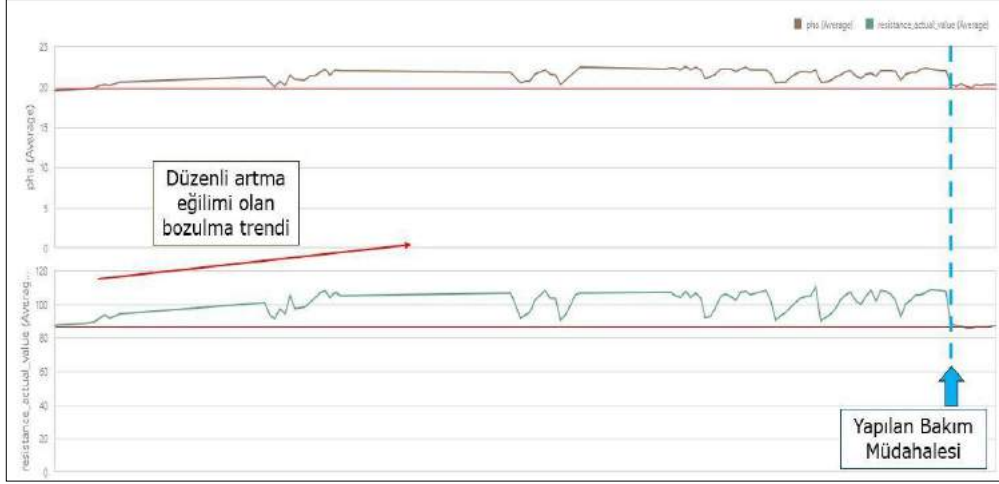
Şekil 13. Arızı Durum Anomali Tespiti



Şekil 14. Enerji Artışına Neden Olan Anomali Kök Nedeni

Şekil 11.-12. Robotik kaynak pensesinde oluşan anomali, port elektrod ile tutucu elektrod bağlantı bölgesinde oluşmaya başlayan arklanma neticesinde, akımın geçişine karşı direnç göstermesine sebebiyet vermektedir. Bu durumda sabit kaynak modu ile programlanan trafonun istenilen akım değerine ulaşmak için gücünü arttırarak şebekeden fazla enerji tüketmesine sebep olmaktadır. Bu şekilde uzun süre çalışan bir kaynak pensesinde trafonun arızalanması veya arklanmanın büyüyerek pense kollarında aşırı tahribat sonucu uzun hat duruşu yaratabilmektedir.

10. Elde edilen veriler ile oluşturulan akıllı algoritmalar ile alarm ve e-posta servisleri sayesinde kalite ve hat verimliliğinde artış sağlarken, hat kondüktörlerinin otonomi seviyesi arttırılmıştır. Ayrıca periyodik olarak yapılan proses parametre kontrolleri ve ekipman bakım işçilikleri elimine edilmiştir.



Şekil 15. Arzi Durum Anomali Tespiti



Şekil 13.-14. Robotik frezeleme prosesinde oluşun anomali, oluşturulan algoritma takip sistemi ile tespit edilmiş ve kalite hatasına dönüşmeden erken uyarı sistemi sayesinde elimine edilmiştir.

Yapılan çalışmalar ve hala üzerinde devam eden geliştirmeler ile parametre takip sistemi sayesinde verileri değere dönüştürerek işletme giderlerinde majör iyileştirmeler yapmak, kaynak proseslerinde kalitenin güçlü güvenilir ve sürdürülebilir olmasını sağlamak mümkün hale gelmiştir.



#### 4. KAYNAKÇA

- [1] Doruk E., Pakdil M., Çam G., Durdun i., Kumru U., “Otomotiv Sektöründe Direnç Nokta Kaynağı Tofaş Uygulamaları”, Kaynak Kongresi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı
- [2] Geißler, G., Hahn, T., “Process Development For Multi-Disciplinary Spot Weld Optimization With CAX- LOCO, LS-OPT and ANSA”, 8th European Users Conference, Strasbourg, France, May 2011
- [3] Ünlükal E., Otomotiv Sanayinde Kullanılan Direnç Nokta Kaynak Kalitesinin Arttırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007, İstanbul.
- [4] Gorkic, A., Diaci, J., Esmail, E. A., & Polajnar, I. (2001). “Real-time resistance spot welding process control by using acoustic detection” , 54th Annual Assembly of IIW.
- [5] Dickinson, D. W., Franklin, J. E., & Stanya, A. (1980). “Characterization of spot welding behavior by dynamic electrical parameter monitoring.” *Welding Journal*, 59(6), 170.
- [6] Dai, W., Li, D., Tang, D., Jiang, Q., Wang, D., Wang, H., & Peng, Y. (2021). “Deep learning assisted vision inspection of resistance spot welds.” , *Journal of Manufacturing Processes*, 62, 262-274.
- [7] Ma, Y., Wu, P., Xuan, C., Zhang, Y., & Su, H. (2013). “Review on techniques for on-line monitoring of resistance spot welding process.” , *Advances in Materials Science and Engineering*, 2013.
- [8] Uzel O., “Resistance Welding Machines Data Monitoring and Reporting System” , Patent 2023 <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/085988844/publication/WO2023063919A2?q=pn%3DWO2023063919A2>
- [9] Zhou, L., Xia, Y. J., Shen, Y., Haselhuhn, A. S., Wegner, D. M., Li, Y. B., & Carlson, B. E. (2021). “Comparative study on resistance and displacement based adaptive output tracking control strategies for resistance spot welding.” , *Journal of Manufacturing Processes*, 63, 98-108.

# ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİ İLE KAYNAKLI İMALAT VE KAYNAK SEKTÖRÜNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM

*İlker Olucak, Oylum Samsun*

*Kolarc Makine Genel Müdürü*  
*e-posta: [ilkerolucak@kolarc.com](mailto:ilkerolucak@kolarc.com)*

*Kolarc Makine Ar-Ge Mühendisi*  
*e-posta: [oylumsamsun@kolarc.com](mailto:oylumsamsun@kolarc.com)*

## ÖZET

Kaynaklı imalat sektöründe izleme sistemi, işletmelere kaynak kalitesi, analiz, veri işleme gibi kritik konularda büyük kolaylık sağlar. Hatalı kaynakların düzeltilmesi için gereken iş parçası hazırlık süreçlerinin maliyetini minimize etmek, işletmelere büyük ölçüde sarf malzemesi, zaman, iş gücü tasarrufu sağlar. ARCloud teknolojisi, kaynak süreçlerini ve parametrelerini anlık olarak izleme, veri depolama, analiz etme, işleme ve kontrol etme yetenekleri sunar. Ayrıca, bu teknoloji ile makineye kural verisi gönderme gibi önemli bir yetenek kazanılmış olur. Bu bildiride kaynaklı imalatlarda, izlenebilirliğin ve oldukça düşük zaman aralıklarında üstün işlem kabiliyeti ile kaynaklı üretimde sürdürülebilir kalitenin, zamandan ve ham maddeden tasarrufun ARCloud sistemi ile nasıl mümkün olduğunu göstermek amaçlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Endüstri 4.0, ARCloud Teknolojisi, izleme sistemi, kaynaklı imalat, gelişme, kaynak kalitesi.

## ABSTRACT

In the Welding manufacturing sector, a tracking system provides significant advantages to businesses in critical areas such as source quality, analysis, and data processing. Minimizing the cost of the preparation process required for rectifying faulty sources leads to substantial savings for companies in terms of consumables, time, and labor. The ARCloud technology offers capabilities for real-time monitoring, data storage, analysis, processing, and control of source processes and parameters. Furthermore, this technology represents a significant step toward Industry 4.0 by enabling actions such as sending rule data to machines. The purpose of this report is to demonstrate how traceability in source-based manufacturing, coupled with a high processing capability at significantly reduced time intervals, can achieve sustainable quality in source-based production while saving time and raw materials through the ARCloud system.

**Keywords:** Industry 4.0, ARCloud technology, monitoring system, weld quality, development, welding manufacturing.

## 1. GİRİŞ

### 1.1 Endüstri 4.0 ve İzlenebilirlik

Endüstri hızla gelişen değişen ve döneminin teknolojik gelişmelerinden faydalanması kaçınılmaz olan bir sektördür. Endüstri 4.0 ise üretimde kalite, analiz, verimlilik gibi kavramları teknoloji ile harmanlayarak üretimde modernleşme ve sürekli olma imkânı ile karşımıza çıkmaktadır.

Endüstride kaynak sektörü gerek uygulama gerekliliği gerekse sıklığı bakımından önemli bir yere sahiptir. Kaynak sektöründe endüstri 4.0 kapsamında otomasyon, çok fonksiyonlu kaynak makineleri, robotlar ile

sektörde büyük bir ilerleme kaydetmiştir. ARCloud teknolojisi sağladığı üst düzey izlenebilirlik, düzenlenebilirlik, kontrol edilebilirlik sayesinde kalite, verimlilik, veri analizi, üretim, tüketim takibi ve bu değerlerin geneli için sürdürülebilirliği maksimum değerde kullanıcıya sunmaktadır. Aynı zamanda sistem sayesinde makine kontrolüne imkân vererek yanlış kaynak proseslerini önlemesi, Türkiye'deki kaynak sektöründe izleme sistemlerinde atılan büyük ve yeni bir adımı temsil eder.

Kaynak kalitesi ISO 3834 ile metalik malzeme kaynağı gereksinimleri standart hale getirilmiş ve temel standartların yanı sıra ürüne özgü ISO 9001 gibi özel kalite standartları belirlenmiştir. Bu veriler tüm kaynak sektörlerince kabul edilmiştir. Kaynaklı imalatta üretim sürekliliği kaynak kalitesi ile eşdeğerdir. Endüstride her ne kadar üretimin sürekliliği amaçlanıyor olsa da kaynak kalitesinin istenilen değerlerde olmaması üretimin verimini azaltmaktadır.

Hatalı kaynakların çoğu, kaynak işlemi sırasında oluşan gerilmeler, kaynak yönteminin ve parametrelerinin uygun seçilmemesi, kaynakçının tecrübesi gibi sebeplerden oluşmaktadır. Hatalı kaynaklarla başa çıkmak için yapılan tamir kaynağı çok zahmetli prosedürler içerir. Kaynak kalitesi uygun olmayan kaynaklar, tamir sürecine girer ve bu tamir süreci hatalı bölgenin tespiti, uygulanması gereken proseslerin belirlenmesi ve onaylanması, dolgu metali kaplaması veya kenar dolguları, yarma ve oyma gibi uygulamalar ile sonuçlanır. Sonrasında ise malzemenin tekrar kaynağa alınmasıyla devam eder. Bu da endüstriyel süreçlerin verimliliği ve rekabetçiliği açısından en kritik etken olan, zamanın etkin yönetilememesine neden olur.

ARCloud teknolojisi ile kaynak işlemi akım, tel hızı, gerilim gibi ana parametreler için sınırlandırılabilir. 0,1 saniye gibi oldukça düşük aralıklarla bu sınırlamalar işleme alınır ve bu sistem sayesinde parçanın durumu anlık takip edilebilir. Olası bir limit aşımı sırasında kaynak makinesine, makinedeki izinler doğrultusunda anında müdahale edilebilir, kaynak işlemi durdurulabilir. Böylelikle tamir sürecinde kaybedilecek zaman ve iş yükü önenebilir.

## 2. İNCELEME

### 2.1 Kaynak Parametreleri ile Isı Girdisi, Ark Enerjisi hesabı

Kaynak kalitesinde ısı girdisi kaynak süresi boyunca kaynatılan metalin maruz kaldığı ısı enerjisine denir. ISO/TR 18491 standartlarına göre de:

$$Q = \frac{Q_a \cdot Q}{Q} \cdot 10^{-3} \quad QQ/QQ \text{ İle hesaplanmaktadır.}$$

Anlık ark enerji ise değişen akım ve voltaj bilgilerine göre kısa aralıklarla akım ve voltajın çarpımının toplanıp ortalamasına göre bulunan veridir.

Ark enerjisi kaynak parametrelerinden akımın voltajla çarpımının kaynağın ilerleme hızına bölünmesiyle elde edilir.

**Tablo 1.** Kaynak prosesine göre termal verimlilik ISO/TR 17671

proses	k çarpanı
Submerged arc welding	1.0
MMA welding	0.8
MIG welding	0.8
MAG welding	0.8
Flux-cored arc welding without shielding gas	0.8
MAG welding with flux-cored electrode	0.8
MIG welding with flux-cored electrode	0.8
MAG welding with flux-cored electrode	0.8
MIG welding with metal-cored electrode	0.8
TIG welding	0.6
Plasma welding	0.6

$$Q = \frac{Q_a \cdot Q}{Q} \cdot 10^{-3} \quad QQ/QQ \text{ Ark enerjisi: Akım ve voltaja göre hesabı}$$

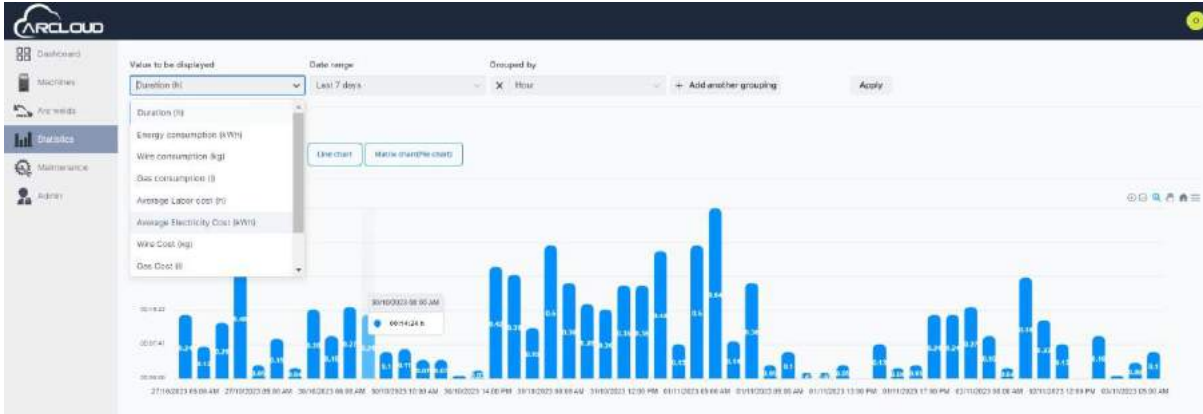
$$Q = \frac{QQ}{Q} \cdot 10^{-3} \quad QQ/QQ \text{ Ark enerjisi anlık ark enerjisine göre hesabı}$$

$$QQ = Q \cdot Q \cdot Q \text{ Anlık ark enerjisi}$$

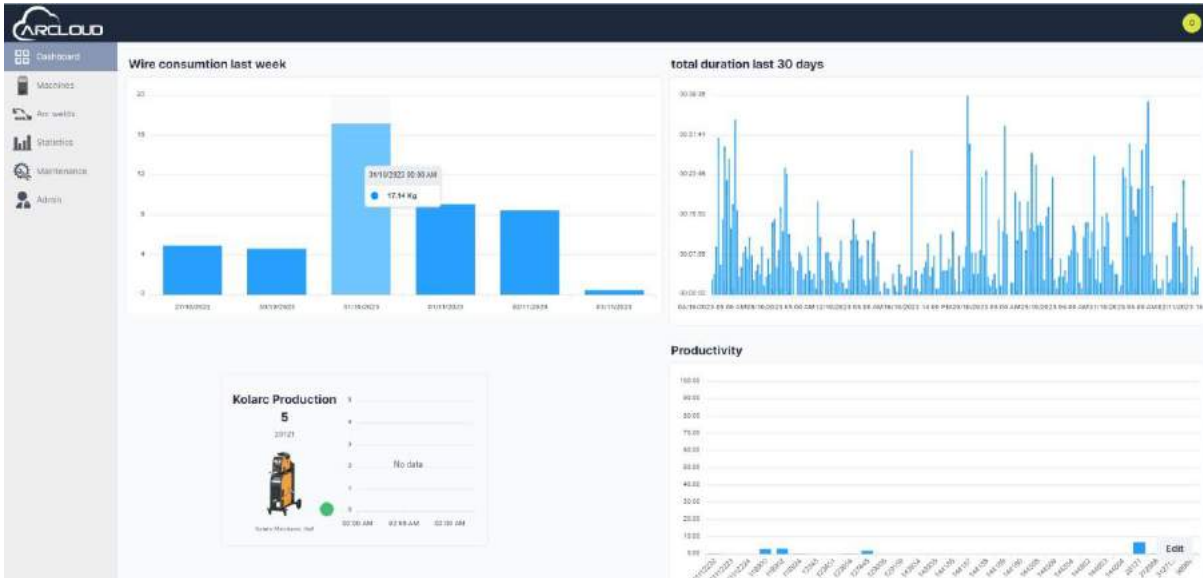
**Tablo 2. Semboller ve Açıklamaları**

Sembol	Terim	Birim
I	Amper	A
U	Voltaj	V
v	İlerleme Hızı	mm/s
k	Isı verimlilik	%
Q	Isı girdisi	kJ/mm
L	Paso uzunluğu	mm
t	Kaynak süresi	s
IE	Anlık enerji	J

Bu verilerin hesabından elde edilen doğru ısı girdisi, kaynak işlemi esnasında ısınan metalin mekanik özelliklerini ve parçanın soğuması sırasında metalin sertleşme derecesini belirler. Isı girdisi verisi kaynak işlemi sırasında istenmeyen çatlakların oluşmasını engeller. Bu veriler kaynak mühendisine doğru kaynak işlemi için gereken parametreleri ve kaynaklı imalatta enerji verimliliğini sağlar. Aynı zamanda bu değerlere uygun kaynak işlemi üretimde standartlara uygun bir sürekliliği sağlar.



**Resim 1. ARCloud izleme sistemi istatistikler ekranı**



**Resim 2. ARCloud izleme sistemi gösterge paneli**



Resim 3. ARCloud izleme sistemi kaynak detay ekranı

### 3. UYGULAMA

#### 3.1 ARCloud Teknolojisi

ARCloud teknolojisi yüksek kapasiteli ve büyük miktarda veriyi hızlı bir şekilde işleme yeteneğine sahip makinelerin sistemle buluşmasıdır. Bu teknoloji ile kaynak kalitesi için belirlenen limit parametreleri sisteme girilebilir ve kontrol edilmek üzere makineye gönderebilir. Olası bir limit aşımında isteğe bağlı olarak kaynak işlemi durdurulabilir. Kaynak sonunda iş parçasının kaynak süresince 0,1 saniye gibi oldukça hassas çözünürlükle akım, voltaj, tel hızı grafiği incelenebilir. Kaynak işleminin hangi saniyeler aralığında, hangi parametrelerde işlendiğinin kontrolü yapılabilir. Aynı zamanda her bir kaynak prosesinin anlık olarak sistemde takibi yapılabilir. Bu ayrıntılı kaynak verisi sayfasında her kaynak prosesi kaynakçı, parça bilgisi, hafıza numarası, akım, voltaj, tel hızı, harcanan enerji, harcanan tel, harcanan gaz, makine seri numarası, kaynak modu gibi bilgileri içerir. Ayrıca, kaynak işlemi sırasında parça uzunluğu makineye iletilmiş ise, kaynağın türüne göre hesaplanan ısı girdisi, ark enerjisi ve anlık enerjiye dair detaylara kaynak ekranından erişilebilir.

Kablosuz ağda herhangi bir bağlantı kopması durumunda, makine, kaynak prosesinin süresine bağlı olarak (bu süre değişebilir) kaynak verilerini bir güne kadar saklayabilir.

ARCloud sistemi maliyet analizini de mümkün kılar. Sistemde her bir tel, gaz cinsine ait birim maliyet ve kaynakçılara ödenen saatlik ücret girilebilir. Bu kaynak parametrelerini maliyet etkin bir şekilde, birim maliyeti girilen sarf malzemelerinin ay sonu, gün sonu, hafta sonu vb. gibi işletmenin ihtiyacına göre filtrelenebilir ve tarayıcıda kolayca görülebilen net tablolara ve grafiklere dönüştürülür. Bu da maliyet iyileştirme işlemlerine oldukça yardımcı olur.

İşletmeye bağlı makinelerin anlık durumuna, açık kalma süresine oranla kaynak yapma süresine ulaşabilir, verimlilik, üretkenlik, tüketim, bakım vb. gibi grafiklere istatistikler ekranından ulaşılabilir.

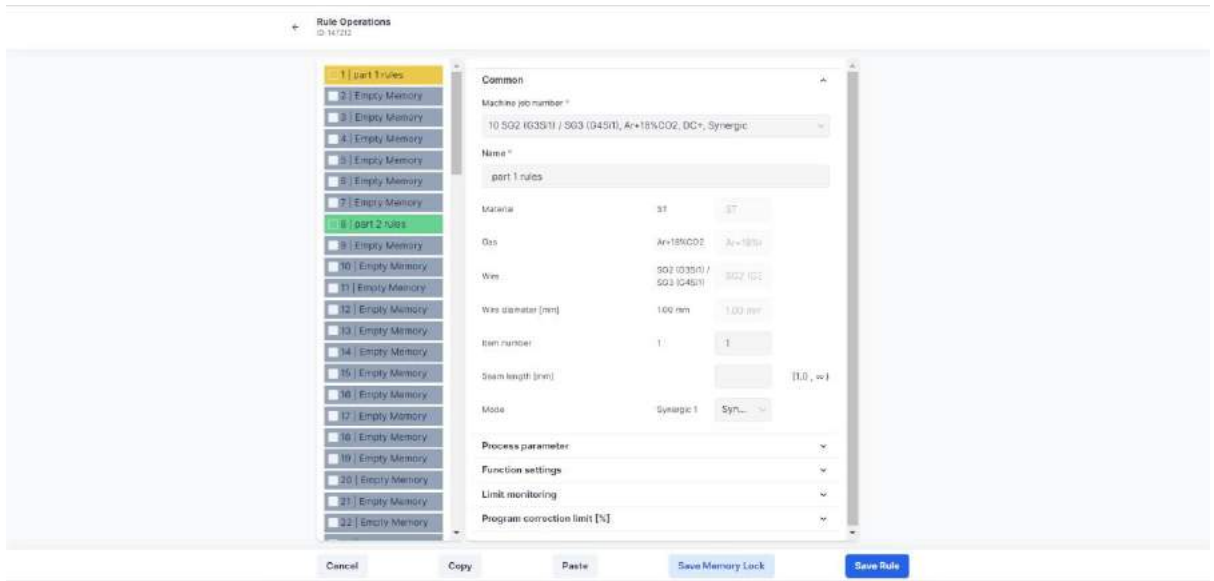
Kaynak makinesinin parça, parça versiyon takibini yapabilir makineler işletmede bulunduğu bölüme göre özelleştirilebilir.

Makinelerde kullanılan MQTT (Message Queuing Telemetry Transport), Internet of Things (IoT) gibi düşük bant genişliği ve yüksek performans gereksinimlerine sahip uygulamalar için tasarlanmış bir iletişim protokolüdür, bu protokol hafif, güvenilir ve etkili bir protokoldür. Makinelerin sahip olduğu ve fiziksel bir bağlantıya ihtiyaç duymayan bu haberleşme protokolü ile herhangi bir kablolu donanım gerekmeden, karışıklığa sebep olmadan tarayıcıdan erişim sağlanan her yerde ARCloud sisteminden makineye uzaktan veri atılabilir.

Kalifiyesiz kaynakçıların kaynak işlemi sırasında makinede belirlenen değerleri değiştirmesini engellemek amacıyla makine kilitlenebilir. Bu sayede kaynakçının yanlış parametrelerde kaynak yapma olasılığı ortadan kalkmış olur.

Makinelerin hafıza kaydı, sistemdeki sanal hafıza bölümü ile takip edebilir. Bu sanal hafızada makinedeki tüm hafıza blokları listelenir. Her bir hafıza bloğuna isim verilebilir. Bu hafızalarda makinede değiştirilebilen tüm parametreler ve fonksiyonlar dahil, hatalı kaynağı belirleyen limitler, iş parçası numarası, iş parçasının uzunluğu gibi ekstra bilgiler de bulunur. Bu ekstra bilgilerin de tamamen doldurulup makineye gönderilmesiyle kusursuz kaynağa ve kaynak detayı ekranındaki parametrelerin tamamına ulaşılır. İşletmeler uygun WPS kaydının bir önceki parametreler ile karşılaştırmalarını yaparak, çıkarımlarda bulunabilir. Böylelikle işletmenin kendine en uygun kaynağı bulması ve standartlarını oluşturması sağlanır. Bu standartlar ile seri üretimde kalite garanti edilir.

ARCloud ile makine hatalarına anında erişilebilir. Makine hata durumunda ise kullanıcıya bunun bildirimini yapılabilir. Kullanıcı sistemdeki hata kodlarına ve hata kodlarının temel sebeplerine ulaşarak hatayı hızlıca fark etme ve çözme imkanını yakalar. Makinenin rutin zamanını baz alan ve kullanım süresini baz alan bakım takibi yapılabilir, bakım zamanı bildirimleriyle de makine ömrünü artırma şansı yakalanır.



Resim 4. ARCloud izleme sistemi kural oluşturma ve makineye gönderme ekranı

## KAYNAKÇA

1. Easterling, K., "Introduction to the Physical Metallurgy of Welding", Second Edition, ButterWorth-Heinemann Oxford, 1992.
2. ISO/TR 17671-1:2002: Welding Recommendations for welding of metallic materials- Part 1: General guidance for arc welding.
3. ISO/TR 18491:2015: Welding and allied processes - Guidelines for measurement of welding energies.
4. ISO 3834-1:2021 Quality requirements for fusion welding of metallic materials- Part 1: Criteria for the selection of the appropriate level of quality requirements.
5. Onur, Ö., 2016 "Kaynaklı Çelik Yapılarda Tamir Kaynağı ve Prosedürü," Mühendis ve Makina, cilt 57, sayı 673, s. 39-47. Ankara.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad:** İlker Olucak

**Doğum Tarihi:** 16.04.1981

### Eğitim Bilgileri:

- Sakarya Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
- Lisans Derecesi: Elektrik Elektronik Mühendisi  
Mezuniyet Yılı: 2003
- Yüksek Lisans: Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği  
Mezuniyet Yılı: 2005
- Yüksek Lisans: Maltepe Üniversitesi Business Administration and Management  
Mezuniyet Yılı:2015

### İş Deneyimi:

- Durmaz Kaynak Ltd. Sti. (Welding Machine Manufacturer in Turkey)  
Pozisyon: Mühendis
- Vega Makina A.S. (MillerWelds Distributor in Turkey)  
Pozisyon: Teknik Yönetici
- Kilmak  
Pozisyon:Tesis Yöneticisi
- INTERKOMBINE Kaynak Ekipmanları San. ve Tic. Ltd.  
Pozisyon: Teknik Yönetici
- Kolarc Makine İmalat Sanayi ve Ticareti A.Ş.  
Pozisyon: Yönetim Kurulu Üyesi
- Solarkol Enerji San. ve Tic. A.Ş.  
Pozisyon: Yönetim Kurulu Üyesi



**Ad Soyad:** Oylum Samsun

**Doğum Yılı:** 17.02.1998

**Eğitim Bilgileri:**

- Gaziantep Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
- Lisans Derecesi: Elektrik Elektronik Mühendisi  
Mezuniyet Yılı: 2022

**İş Deneyimi:**

- Kolarc Makine, Ankara, Türkiye  
Pozisyon: AR GE Mühendisi

## OTOMOTİVDE NOKTA DİRENÇ KAYNAĞI OPTİMİZASYONUNUN VERİMLİLİK KONUSUNDA ÖNEMİ

İlker AVCI<sup>1</sup>, Metalürji ve Malzeme Müh.

<sup>1</sup>*Oyak Renault Otomobil Fabrikaları A.Ş.*  
e-posta: [ilker.i.avci@renault.com](mailto:ilker.i.avci@renault.com)

Nokta Direnç kaynağı optimizasyonu, araç kasası üzerinde atılan kaynak noktalarının olması gereken minimum sayıyla yapılmasını hedefleyen bir verimlilik projesidir. Burada hedef; regülasyonlar ile güvenlik kriterlerini garanti altına alarak ve mevcut müşteri memnuniyeti korunarak toplam kaynak noktasını azaltmaktır. Hem araç projesi devreye alma etaplarında hem de seri üretim şartlarında gerçekleştirilebilir. Metot ise iki punta noktası arasındaki ortalama ve maksimum adıma göre direnç kaynak nokta sayısını belirlenmesidir. Köşe bölgelerdeki kaynak noktaları bu çalışmaya dahil değildir. Kaynak noktası yapılacak bölgenin toplam uzunluğu, atılması öngörülen punta sayısını belirler. Burada kritik nokta; o bölgenin özelinde olması gereken kaynak noktası adımının belirlenmesidir. Hem simülasyon çalışmaları hem de fiziksel doğrulamalar bu bölgede olması gereken adım uzunluğunu geçmiş araç projeleri ile kıyaslayarak oluşturulur. Böylece ortaya çıkan adım uzunluğu ile üretim prosesin çeşitliliğine göre toplam öngörülen punta sayısı belirlenir. Bu bildiride nokta direnç kaynağı optimizasyonu metodunun Clio araçlardaki uygulanması anlatılacaktır. İlgili regülasyonlar ve güvenlik kriterlerinin nasıl korunduğunu tartışılacaktır.

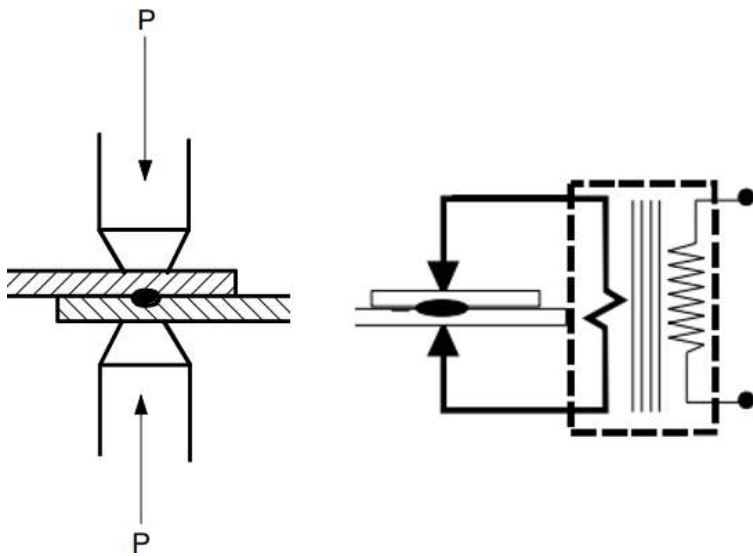
**Anahtar Kelimeler:** Kaporta nokta direnç kaynağı, Dayanım, şok, akustik

## 1) GİRİŞ

Günümüzde metal sanayi endüstrinin birçok alanında nokta direnç kaynağı kullanılmaktadır. Otomotivde de yoğun bir şekilde kullanılan nokta direnç kaynağı elektrik akımına dirençten elde edilen ısıyla birbirine temas eden metal yüzey noktalarının birleştirildiği sac metal ürünlerine kaynak yapmakta kullanılan bir elektrikli direnç kaynağı türüdür.

Punta kaynağının çekici özelliği çok kısa sürede yaklaşık 10–100 milisaniyede puntaya çok fazla enerjinin iletilebilmesidir. Bu, levhanın geri kalanının aşırı ısınmadan kaynak yapılmasına olanak sağlar. Noktaya iletilen ısı (enerji) miktarı elektrotlar arasındaki direnç, akımın büyüklüğü ve süresi ile belirlenir. Enerji miktarı levhanın malzeme özelliklerine, kalınlığına ve elektrot tipine uyacak şekilde seçilir. Çok az enerji uygulamak metali eritemez veya zayıf bir kaynak yapar. Çok fazla enerji uygulamak çok fazla metali eritir, erimiş malzemeyi çıkarır ve kaynak yerine delik açar. [1].

Punta kaynağının bir diğer özelliği de; güvenilir kaynak üretmek için, noktaya verilen enerjinin kontrol edilebilmesidir. Çok yüksek seviyede enerjinin kaynak teknolojisinde kullanılması, otomotiv mühendislerinin bu alandaki verimliliği arttırmak için optimizasyon çalışmalarına yönlendirmiştir. Nokta Direnç kaynağı optimizasyonu, araç kasası üzerinde atılan kaynak noktalarının olması gereken minimum sayıyla yapılmasını hedefleyen bir verimlilik projesidir. Burada hedef; regülasyonlar ile güvenlik kriterlerini garanti altına alarak ve mevcut müşteri memnuniyeti korunarak toplam kaynak noktasını azaltmaktır.



## 2) PUNTA KAYNAK ALANLARININ TASARIMI

### 2.1. TASARIM İÇİN GENEL İLKELER

Araç kasası, beş standart makro birimden oluşur.

Bu beş makro birim şunlardır:

*- Ön Ünite, Orta Ünite, Arka Ünite, Üst yapı, Erişim sistemi.*

Her Makro Birim içerisinde araç iki tür alana ayrılmaktadır.

1- Dayanıklılık, darbe koruması veya statik kuvvetlere karşı direnç gibi aynı ana ürün işlevini (Müşteri Gereksinimi) yerine getiren bir dizi nokta kaynaktan oluşan kanuni ve güvenlik (R/S) alanları, [2]

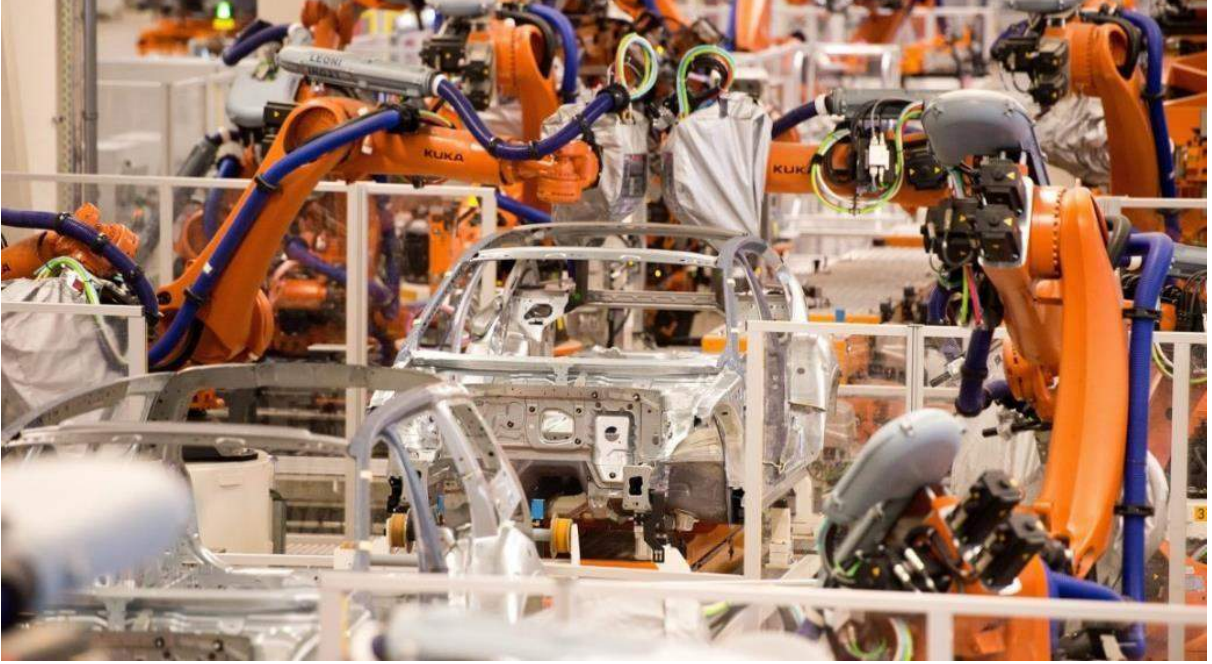
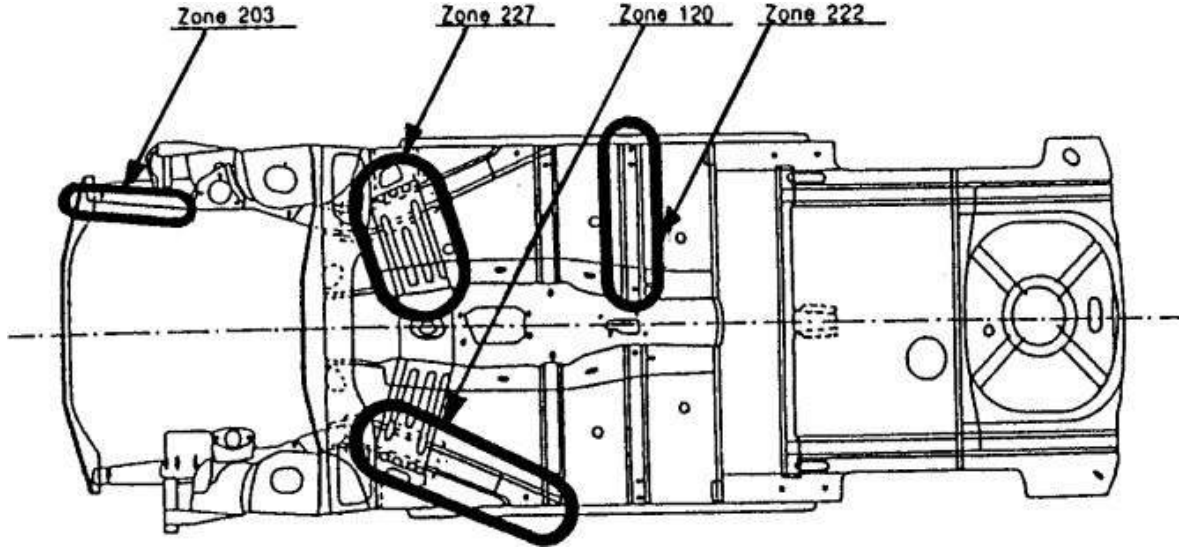
2- R/S alanlarına ait olmayan nokta kaynaklarından oluşan kanuni ve güvenlik alanı olmayan alanlar

Alanlara göre yapılan bu döküm, ürünün Mühendislik Merkezi spesifikasyonlarına uygun olmasını sağlar.

Bir parçadaki nokta direnç kaynağı sayısı azsa: çeşitli destek parçalar, braketler, ataşmanlar vb. kullanılabilir ve nokta direnç kaynağı sayısı artırılabilir, teknoloji değişiklikleri (perçin, vidalama vb.) veya izleme planının güçlendirilmesi gibi çözümler kullanılabilir, uygulanabilir.

<b>Temel R/S Fonksiyonları</b>	<b>Kanuni/Güvenlik Alanları</b>
Kanuni: Darbe, Bağlantı noktası, Çekme vb	R
Stratejik darbe kuvveti emme bölgeleri	S
Güvenlik: kriko noktaları, tavan barları, bisiklet taşıyıcı vb.	S
Kuvvet giriş alanları (güvenliği etkileyen bölgelerin mukavemeti) -Akslar, direksiyon, yakıt devresi, güç aktarma organları	S

## Örnek R/S bölgeleri



### **R/S tipi olmayan alanlar:**

Her makro birim için bu türden yalnızca bir alan vardır. Bu alanlarda izin verilen nokta kaynaklarının sayısı sınırlı değildir. Bir veya daha fazla spesifik işlevi yerine getirmezler ancak R/S dışı gereklilikler açısından araç kasasının genel doğru davranışına katkıda bulunurlar.

## 2.2 ÜRÜN/PROSES ÖZELLİKLERİNİN HAZIRLANMASI

### 2.2.1. R/S alanları

Her bir R/S alanı için, "ürün" Spesifikasyon Mühendisi (kaynak çiziminden sorumlu çalışma yöneticisi), çeşitli uzmanlarla birlikte aşağıdakileri tanımlar:

- işlevsel olarak gerekli minimum nokta kaynağı sayısı: N işlevsel,
- gerekli güvenilir nokta kaynak sayısı: N güvenilirlik,
- toplam nokta kaynağı sayısı: Toplam N

Burada:  $N_{\text{toplam}} = N_{\text{işlevsel}} + N_{\text{güvenilirlik}}$ .

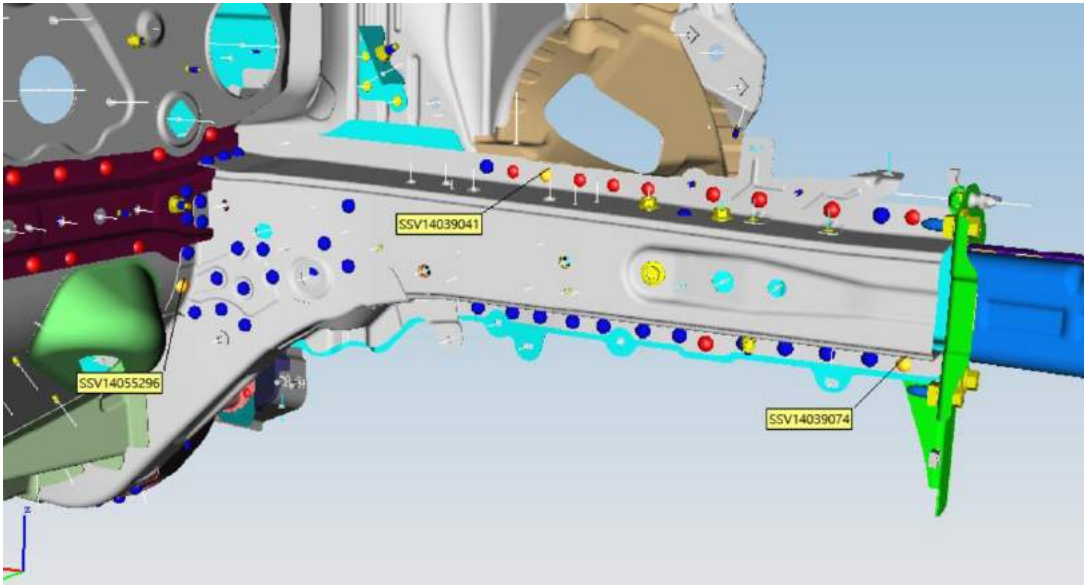
Bölgedeki güvenilirlik nokta kaynaklarının sayısı toplam punta sayısına göre belirlenir. **Burada hedef güvenilirlik kaynak noktaları olmadığında da işlevsellik performansı sağlanmalıdır.**

Eğer N toplam  $\rightarrow 4 \leq N_{\text{toplam}} \leq 21$  ise, N güvenilirliği = 1

Eğer N toplam  $\rightarrow 22 \leq N_{\text{toplam}} \leq 42$  ise, N güvenilirliği = 2

Eğer N toplam  $\rightarrow 43 \leq N_{\text{toplam}} \leq 63$  ise, N güvenilirliği = 3

Örnek: Aşağıdaki ön kiriş bölgesinde toplam punta kaynak sayısı 43 ve 3 adet güvenilirlik kaynak noktası var; genelde istenen performansı gerçekleştirirken en çok strese maruz kalan noktalar güvenilirlik noktası olarak tercih edilir. Kaza anında bu puntalar olmasa bile istenen performans görevini yerine getirmelidir. (Ön Şok bölgesi,R)



### **2.2.2. R/S olmayan alanlar**

Proses spesifikasyon mühendisi, prosesinde oluşabilecek maksimum hata oranını (TNC) R/S olmayan alanlar için tanımlar. Bu TNC, ilgili ünit ve üretimin ne kadar zor olduğuna bağlı olarak farklılık gösterebilir.

Proses Spesifikasyon Mühendisi, Ürün Spesifikasyon Mühendisinin tasarım sürecine entegre edebilmesi için TNC'yi mümkün olduğu kadar erken ayarlamalıdır.

Varsayılan olarak TNC, beş makro birimde yer alan R/S olmayan her alan için %1'e sabitlenecektir.

Ancak bu TNC, gövde için genel TNC %1 kalacak şekilde makro birim başına minimum %0,5 ile maksimum %2 arasında ayarlanabilir.

### **2.2.3. Ürün Özelliklerinin Onaylanması**

- Kanuni veya güvenlik gereksinimine tabi alanlar (R/S alanları), gereksinimlerin karşılandığından emin olmak için minimum sayıda nokta kaynağına sahip prototipler kullanılarak doğrulanır (N işlevsel).

- Diğer alanlar (R/S olmayan alanlar), gereksinimlerin karşılanması için gerekli nokta kaynak sayısı (toplam N) ile doğrulanır. Gereksinimlerin sağlamlığı, proje devreye alma etaplarında prototip araçlar üzerinde gerçekleştirilen testlerle kanıtlanmıştır.

Ön Şok	R : ECE 94, ECE 137
Yan Şok	R : ECE 95, ECE 135
Arka Şok	R : ECE 32
Bağlantı noktası	R: ECE 14, ECE 17
Dayanım	S: Kuvvet giriş alanları
Çeki Demiri	R: UTAC
Tavan Barı	S: Kuvvet giriş alanları
Kriko Dayanağı	S: Kuvvet giriş alanları



### 3. PUNTA KAYNAĞININ ÖZELLİKLERİNİN TANIMI

Bir nokta direnç kaynağı 3 karakteristik özelliğe göre tanımlanır.

1. Mukavemet
2. Konum
3. Şekil

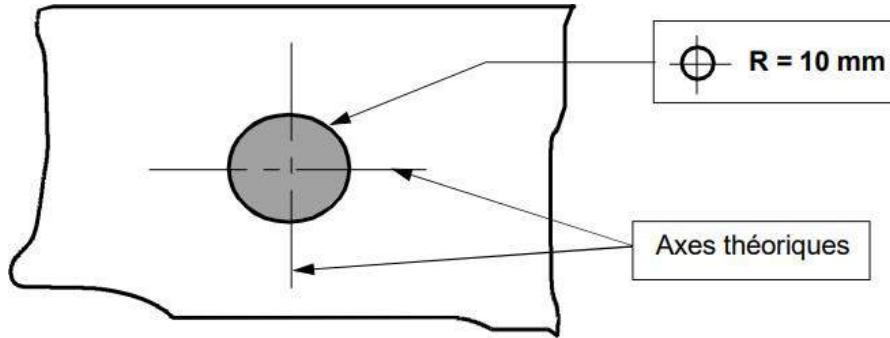
#### 3.1 Mukavemet;

Direnç nokta kaynakların mekanik gücü birleştirilen malzemelerin özelliklerine, metal levhalarının kalınlığına ve nokta kaynağının çapına bağlıdır. [3]

#### 3.2 Direnç Nokta Kaynaklarının Konumu

Mühendislik Merkezinin çizimi tek referanstır.

Nokta kaynaklarının teorik konumu Mühendislik Merkezi tarafından tanımlanır. (Araç referans sistemindeki X, Y, Z değerleri). Varsayılan olarak konum toleransı, teorik konumun etrafında 10 mm yarıçaplı bir dairedir.



Aracın tüm nokta direnç punto kaynakları, kaynak spesifikasyonlarında belirtilen kalite hedeflerine ulaşmalıdır.

"Ürün" Spesifikasyon Mühendisi, belirlenecek belirli bir toleransa sahip punta kaynaklarını gösterebilir (dayanıklılık, darbeler vb. açısından hassas punta kaynakları). Bu punta kaynakları, kaynak çizimlerinde ve punta kaynakları listesinde açıkça tanımlanmalıdır.

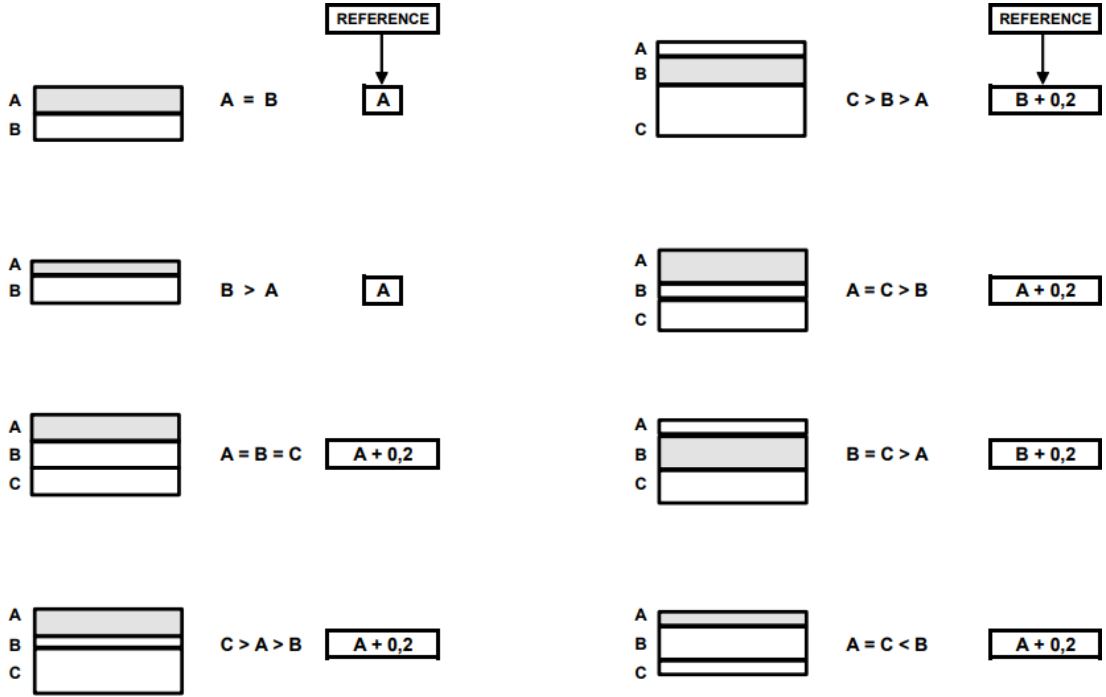


### 3.2.1 Direnç Nokta Kaynakları Arasındaki Minimum ve Maksimum Aralık

Nokta kaynakları arasındaki minimum aralık, kaynak parametrelerini belirlemek için kullanılan referans sac kalınlığına göre tanımlanır. (Merkezden merkeze mesafe)

a) İki kalınlıktaki montajlar kaynak yapıldığında referans sac en ince sacdır.

b) Üç kalınlıktaki montajlar kaynak yapıldığında referans sayfası istifleme senaryosuna göre tanımlanır:



[4]

Aşağıda aralık değerleri, akım değişimlerini telafi etmek amacıyla bitişik nokta kaynaklarında herhangi bir özel önlem alınmasını gerektirmeyen minimum değerlerdir.

Referans Sac Kalınlığı	2 Sac Birleşimindeki Nokta Kaynaklarının Arasındaki Minimum Aralık	3 Sac Birleşimindeki Nokta Kaynaklarının Arasındaki Minimum Aralık
0.4	10	14
0.5	10	14
0.55	10	14
0.6	10	14
0.65	11	15
0.7	11	15
0.75	12	17
0.8	13	18
0.85	15	20
0.9	17	22
0.95	19	23
1	20	24
1.1	20	24
1.2	22	26
1.3	23	27
1.4	23	27
1.5	24	29
1.6	26	30
1.7	26	30
1.8	28	32
1.9	30	34
2	32	36
2.2	35	39
2.5	39	43
2.8	41	45
3	43	48

Tüm gereksinimlerin karşılanmasını sağlamak için punta kaynakları arasında önerilen maksimum aralık **65 mm**'dir. 2 sac arasında dayanım mastiği de varsa bu değer **90 mm**'ye kadar çıkarılabilir. [5]

### 3.2.2. Nokta Direnç Kaynağı Optimizasyonu

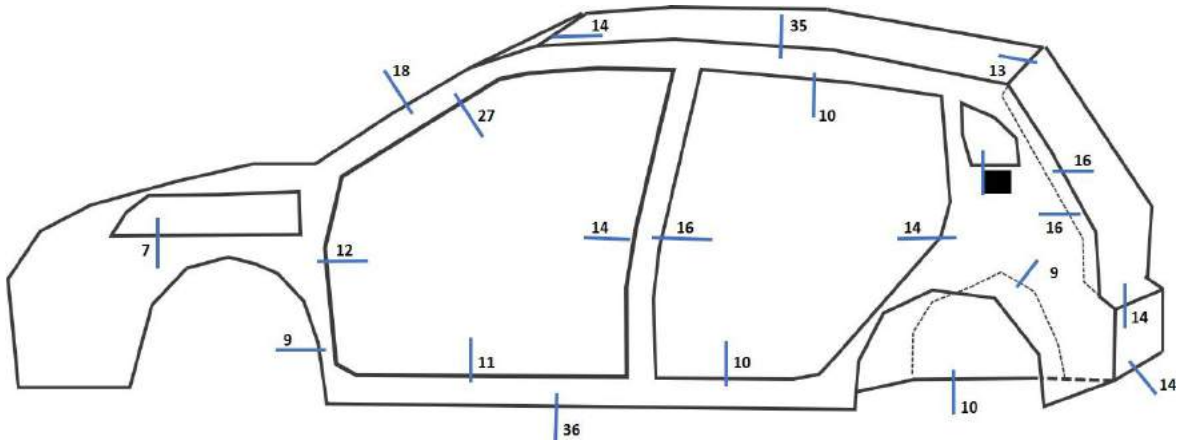
Araç kasası üzerinde atılan kaynak noktalarının olması gereken minimum sayıyla yapılmasını hedefleyen bir çalışmadır. Burada beklenti; regülasyonlar ile güvenlik kriterlerini garanti altına olarak ve mevcut müşteri memnuniyeti korunarak toplam kaynak noktasını azaltmaktır.

Hem araç projesi devreye alma etaplarında hem de seri üretim şartlarında gerçekleştirilebilir.

Metot ise iki punta noktası arasındaki ortalama ve maksimum adıma göre direnç kaynak nokta sayısını belirlemesidir. Köşe bölgelerdeki kaynak noktaları bu çalışmaya dahil değildir.

Kaynak noktası yapılacak bölgenin toplam uzunluğu, atılması öngörülen punta sayısını belirler. Burada kritik nokta; o bölgenin özelinde olması gereken kaynak noktası adımının belirlenmesidir.

Hem simülasyon çalışmaları hem de fiziksel doğrulamalar bu bölgede olması gereken adım uzunluğunu geçmiş araç projeleri ile kıyaslayarak oluşturulur. Böylece ortaya çıkan adım uzunluğu ile üretim prosesin çeşitliliğine göre toplam öngörülen punta sayısı belirlenir. [6]



Clio 5- Potansiyel Üstyapı nokta direnç kaynağı sayıları

Clio 5 projesinde de benzer çalışmalar yapılmıştır. Ana R/ S kaynak hatları ile genel makro bölgelerdeki noktalar bütün yasal zorunluluk ve güvenlik beklentilerine göre performansları bilgisayar destekli simülasyon çalışmaları ile fiziksel doğrulama metotları ile gözden geçirilmiştir.

Temel R/S Kaynak Hatları

Üstyapı Fonksiyonları	Performans	Kanuni Zorunluluk	Güvenlik
B sütunu	Yan Şok	X	
B sütunu / Yan eşik bağlantısı	Yan Şok	X	
B sütunu / Tavan orta kirişi bağlantısı	Yan Şok	X	
Ön ve Arka Emniyet kemeri bağlantıları	Bağlantı Noktası	X	
Tavan bagajı çitası bağlantıları	Dayanım		X
Arka amortisör bağlantısı	Dayanım		X
Arka koltuk ve sırt dayanağı bağlantıları	Bağlantı Noktası	X	
İvmeölçer desteği	Şok		X
Açılırlar	Performans	Kanuni Zorunluluk	Güvenlik
Ön kapı paneli bağlantısının ön ve arka ucu	Ön Şok		X
Platform Fonksiyonları	Performans	Kanuni Zorunluluk	Güvenlik
Ön Kiriş / Orta traverse Bağlantıları	Ön Şok	X	
Alt Çerçeve ve Amortisör Kulesi Bağlantıları	Dayanım		X
Güç Aktarma Organlarının Bağlantıları	Dayanım		X
Ön Çeki Demiri Bağlantısı	Kuvvet	X	
Ön Teker Yuvası / Ön Kiriş bağlantıları	Ön Şok Dayanım	X	X
Kontrol Paneli Destek Sacı	Ön Şok	X	
Orta Taban / Taban altı kirişi Bağlantıları	Ön Şok	X	
Orta Taban / Koltuk altı traversi Bağlantısı	Ön / Yan Şok/ Bağlantı noktası	X	
Ön Koltuk Bağlantıları	Bağlantı Noktası	X	
Direksiyon Kolunu Takviyesi	Ön Şok	X	
Kriko Dayanağı Takviyesi	Kuvvet		X
Arka Çeki Demiri Bağlantısı	Kuvvet		X
Arka Amortisör Takviyesi	Dayanım		X
Arka Emniyet kemeri Bağlantıları	Bağlantı Noktası	X	
Arka Kiriş Bağlantıları	Arka Şok	X	
Arka Takım Bağlantıları	Dayanım		X
Yakıt Deposu Bağlantıları	Dayanım		X

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada otomotivde kullanılan nokta direnç kaynağının gövde birleştirme prosesindeki işlevselliği tartışılmış, kaynak noktası sayılarının hangi dayanaklara göre hesaplandığı değerlendirilmiştir. Proje devreye alma etaplarında başlanılan bu verimlilik çalışmaları, seri üretime geçilmesiyle hız kazanmaktadır. Araç projelerinde ulaşılan optimum punta sayıları sonraki projelere de girdi oluşturmaktadır. [7]. Böylece benzer projeler farklı fabrikalarda üretilse bile karşılaştırmalar hep devam etmekte ve punta sayıları azaltılarak kullanılan enerji miktarı ve üretim maliyeti düşürülmeye çalışılmaktadır. Clio 5 projesindeki bu çalışmalar Renault'un diğer projelerine de transfer olmuştur. Yeni gelecek projelerde de seri üretime geçmeden değerlendirilecektir.

#### 5. KAYNAKÇA

1. [https://en.wikipedia.org/wiki/Spot\\_welding](https://en.wikipedia.org/wiki/Spot_welding) Son erişim tarihi: 28.10.2023
2. Renault Standart- GD Normes 01- 50- 912 / - - D Soudage Electrique Par Resistance A Recouvrement Par Points (Pour Etudes Nouvelles)
3. R. Karthikeyan and V. Balasubramaian, "Optimization of Electrical Resistance Spot Welding and Comparison with Friction Stir Spot Welding of AA2024-T3 Aluminum Alloy Joints," Mater. Today Proc., vol. 4, no. 2, pp. 1762–1771, 2017.
4. <https://www.linkedin.com/pulse/how-control-body-shop-welding-process-vehicle-quality-gajendra-tawade/> Son erişim tarihi: 28.10.2023
5. Tuncer G, Mansouri D, Şendur P. The effect of spotwelds and structural adhesives on static and dynamic characteristics of vehicle body design. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering. 2021;235(12):3207-3219. doi:10.1177/09544070211004468
6. Brožek M. Working variables optimization of resistance spot welding. Manufacturing Technology, vol. 14. 2014, pp. 522-527
7. Morvan Ouisse, Scott Cogan, Sheng Jun Huang, Benoît Guillaume. An efficient procedure for spot welds optimization in automotive structures. 24th International Modal Analysis Conference 2006, Jan 2006, Saint-Louis, United States. pp.152-159. fahal-00178395f



# PUNTA KAYNAK ÇAPAK SIÇRAMALARININ İLERİ ROBOTİK UYGULAMA İLE REVİZYONU

TOFAŞ TÜRK OTOMOBİL FABRİKASI A.Ş.

Halil ÖZDEMİR

Gövde (Kaporta) Kaynak Proses Uzmanı/ BIW Welding Process Specialist

halil.ozdemir@tofas.com.tr

0(549) 694 8503

# PUNTA KAYNAK ÇAPAK SIÇRAMALARININ İLERİ ROBOTİK UYGULAMA İLE REVİZYONU

*Halil ÖZDEMİR*

TOFAŞ TÜRK OTOMOBİL FABRİKASI A.Ş. – BURSA

## ÖZET

Punta direnç kaynağı prosesi esnasında araç kaporta üretimi de dahil olmak üzere endüstri imalat süreçlerinde değişken olarak çapak sıçrama oluşumu gözlenmektedir. Bu durum kaynak kalite sürekliliği ve estetik bölgelere yapışan çapak materyallerinden dolayı kalitesizlik maliyetlerinin artmasına ve müşteri memnuniyetinde negatif bir algı oluşmasına sebep olmaktadır. Punta direnç kaynak prosesinde çapak oluşumunu tetikleyen birçok etken vardır ve işletmelerde azaltmaya yönelik çeşitli akademik çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca işletmelerde kusursuz ürün kalitesi sağlanması amacıyla ürün üzerinde estetik bölgelere yapışan çapak materyallerinin temizlenmesi için revizyon işlemleri uygulanmakta ve işletme giderlerinin artmasına sebep olmaktadır. Proje ile manuel olarak yapılan ve el melekesi gerektiren revizyon işlemini robotik olarak yapılması hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Punta Kaynak Teknolojisi, Revizyon, Görüntü İşleme, Robotik Uygulama

## ABSTRACT

During the spot resistance welding process, weld spatter formation is variably observed in industrial manufacturing processes, including vehicle body production. This leads to an increase in poor quality costs and a negative perception of customer satisfaction due to burr materials adhering to weld quality continuity and aesthetic areas. There are many factors that trigger spatter formation in the spot resistance welding process and various academic studies are carried out to reduce it in enterprises. In addition, in order to ensure perfect product quality in the shop floor, revision processes are applied to clean the weld spatter to the aesthetic areas on the product and cause an increase in operating costs. The project aims to robotically perform the revision process, which is done manually and requires manual skill.

**Keywords:** Spot Welding Technology, Revision, Image Processing, Robotic Application

## 1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisinde sac birleştirme teknolojilerinin içerisinde sağladığı yüksek dayanım, optimum ısı girdisi ile geometri sürekliliği ve dolgu malzemesi gerektirmemesi, ekonomi ve kaynak hızı avantajlarından dolayı punta kaynak teknolojisi en yaygın olarak tercih edilen bir kaynak yöntemidir. Proseslerde olan birçok değişkenlikten dolayı kaynak işlemi esnasında değişken olarak çapak oluşumu gözlenmektedir. Kaynakçıların sürekli karşılaştığı zorluklardan biri olan kaynak sıçraması, kaynak havuzundaki basınç altındaki ergimiş metalin termal genişleme sonucu dışarı atılması ile gerçekleşmektedir. Çapak oluşumunun kaynak ve ürün kalitesine olumsuz etkileri bulunmaktadır. İşletmelerde çapak oluşumunun olumsuz etkilerini azaltmak için ileri akademik çalışmalar yaparak ideal parametreler elde edilmeye, ekipman uygunsuzluklarının tespit edilmesine ve sac malzeme geometrik etkilerini en aza indirmeye yönelik faaliyetler yapılmaktadır.

Diğer taraftan iş parçaları üzerinde oluşan kaynak çapaklarının temizlenmesi yüksek ürün kalitesi ve dolayısıyla müşteri memnuniyeti açısından önem arz etmektedir.



Şekil 1. Boyanmış Otomobil Üzerinde Tespit Edilen Kaynak Çapak Sıçrama Hatası (Estetik Hata Sınıfı)

## 2. AMAÇ

İş parçası üzerinde biriken kaynak çapaklarının revizyon işleminde ağırlıklı olarak geleneksel metotlar ile manuel olarak gerçekleştirilmektedir. İnsana dayalı bu sistemlerde yetkin personel ihtiyaçları, revizyon sürelerinin artmasına bağlı olarak üretim sürelerinin uzaması ve revizyon etkinliği gibi kayıplardan dolayı işletme giderlerine olumsuz etkileri bulunmakla birlikte iş güvenliği anlamında olumsuz unsurlar içermektedir. Bu etkileri azaltmak için robotik sistemlerin kaynak çapağı revizyon projelerine entegrasyonu umut verici bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Uluslararası otomotiv endüstride kullanıma sunulan robotik çözümlerin devreye alma maliyetlerinden dolayı nispeten düşük işçilik maliyeti olan ülkelerde uygulanması fizibilite anlamında kazançlı bir yatırım olmadığı görülmektedir. Üretimde verimlilik ve kaliteyi arttırmak için düşük maliyetli ve etkin bir robotik revizyon uygulaması devreye alınması hedeflenmiştir.



### 3. YÖNTEM

Yapılan analizler ile kaynak yapılan sac malzeme binilerinin kısa olması (kenar kaynak), sac kopyalama uyuşmazlıkları ve yüksek mukavemetli çeliklerin (AHSS) kullanımının fazla olması sebebiyle otomobil kapı boşluk bölgelerinde çapak sıçramalarının fazla olduğu görülmüş ve çalışmalar için bu bölgelere odaklanılmıştır. Geometrik çeşitliliği fazla olan iş parçasının üzerindeki çapakları revizyon işlemi ile temizlemek için farklı ekipmanların kullanımına ve yetkinliği yüksek personellere ihtiyaç vardır.

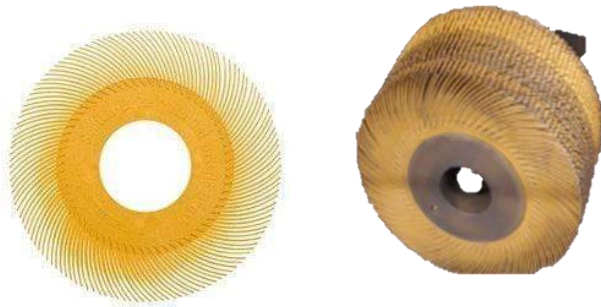


Şekil 2. Araç Kaportası Üzerinde Yapılan Manuel Revizyon Uygulaması

Otomobil kaportası üzerinde birçok geometrik kesit (açısal yüzeyler) bulunmaktadır. Prosesin robotik olarak uygulanabilmesi için manuel uygulama isterlerini karşılaması gereken kısıtlar ortaya çıkmaktadır. Yapılan prova çalışmalarında;

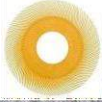
- Geometri farklılığını elimine edecek şekilde tasarlanmış esnek zımpara ihtiyacı
- Sac malzeme üzeri galvaniz kaplamaya zarar vermeyecek şekilde sabit bir baskı kuvveti
- Zımpara pozisyonunu koruyacak şekilde rijit bir robot bağlantısı
- Yük altına yüksek devirde çalışma kabiliyetine sahip motor

gibi isterleri karşılayacak bir proses tasarlanması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Revizyon yapılacak yüzeydeki geometrik farklılıkları telafi edecek ve maksimum performans ile çalışacak aşındırıcı denemelerinde fazla yüzey teması sağlaması, esnek bir yapıda olması ve sertliği sac malzemeden daha yumuşak olması isterlerine istinaden radyal açıda çalışabilen bir zımpara seçimi yapılmıştır. Radyal aşındırıcı ile yapılan işlem sonrası oluşan yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiş ve endüstride yaygın olarak kullanılan kâğıt aşındırıcılara göre yüksek oranda daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuç galvaniz kaplamanın korunması ve boya sonrası oluşabilecek estetik görünüm açısından önemli bir faktördür.



Şekil 3. Projede Seçilen Radyal Zımpara

RADYAL  
ZIMPARA



2500 d/dk - Sabit yük - P80  
Yüzey pürüzlülüğü aşındırmaRa ~1,5 µm

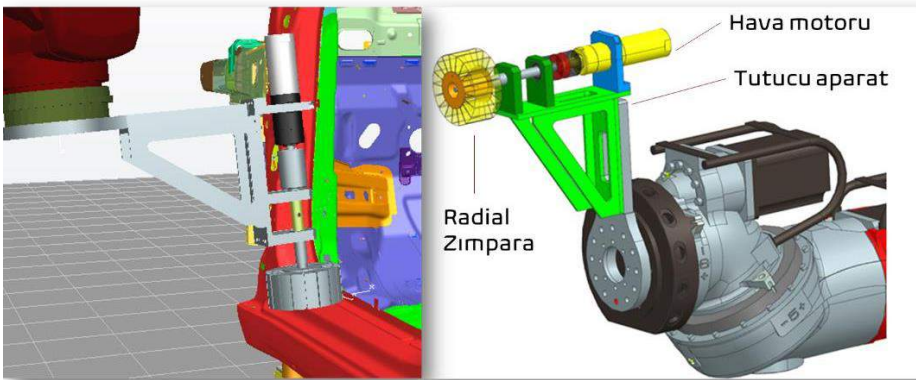
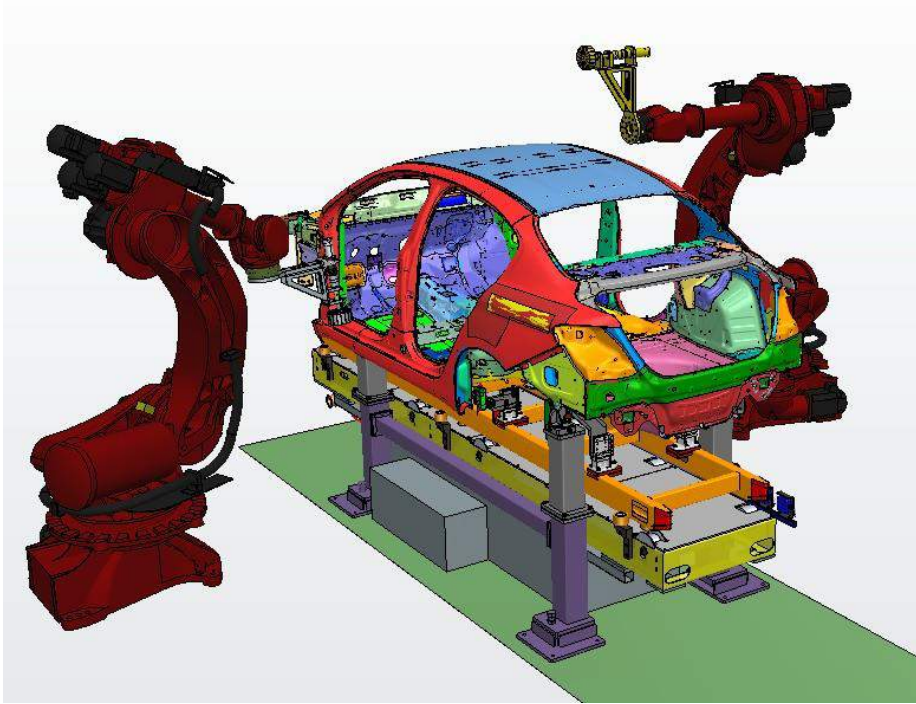
DİSK  
ZIMPARA



2500 d/dk - Sabit yük - P80  
Yüzey pürüzlülüğü aşındırmaRa ~3 µm

Şekil 3. Zımpara modellerinin sac malzeme yüzey pürüzlülüğüne etkileri

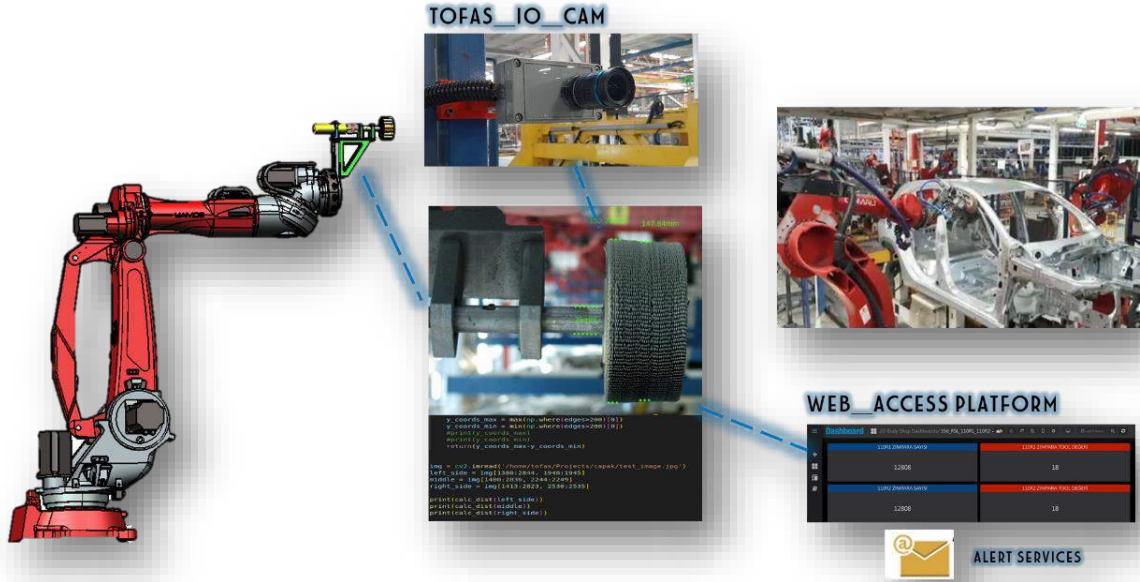
Zımparayı kaporta yüzeyinde istenilen koordinatlara konumlandırarak, robot ile zımpara arasında rijit ve yetenekli bir bağlantı flanşı tasarlanması ve robotun istenilen tüm yüzeylere erişimini garanti eden yerleşim planlanmalıdır. Bu uygulama için sanal simülasyon programları tercih etmek projenin verimini arttırmaktadır.



Şekil 4. Proje Sanal Simülasyon Çalışmaları

Yapılan revizyon denemelerinde en önemli faktörün robot hızı ve buna bağlı olarak zımparanın sac malzeme yüzeyine uygulama kuvveti olduğu görülmüştür. Dönme hızı sabitken fazla baskı uygulandığında sac malzeme yüzeyinde bulunan galvaniz kaplamanın incelediği gözlemlenmiştir. Galvaniz kaplama sac malzeme korozyon dayanımı için önemlidir ve zarar görmemesi gerekir. Ayrıca tanımlanan sabit bir robot yörünge programında, belirli bir çalışma periyodu sonrası zımpara yüzeyi aşındığı için baskı kuvvetinin azaldığı ve revizyon işlemini etkin yapmadığı görülmüştür.

Dolayısıyla zımpara baskı kuvveti önemli bir parametredir. Zımparanın aşınma miktarını hassas bir şekilde algılayıp bu değerle robot yörüngesini otomatik değiştirebilen bir sisteme ihtiyaç duyulmuştur.



Şekil 5. Zımpara Aşınma Miktarının Görsel İşleme Metodu ile Belirlenmesi ve Robot Yörüngesinin Otomatik Programlanması

Zımparanın sac malzeme yüzeyine sabit bir kuvvet uygulaması için işletmemizde geliştirilen yüksek hassasiyete sahip ve programlanabilen kamera ile zımparanın aşınma miktarı takip edilerek, bu oranda robot yörünge koordinatını otomatik olarak güncelleyen bir yazılım geliştirilmiştir. Bu telafi zımparanın ömrü boyunca gerçekleşebilmektedir. Ayrıca tasarlanan program sayesinde zımpara ömrü takip edilerek değişim gerekliliğinde uyarı veren bir yazılım devreye tasarlanmıştır.





Şekil 6. İleri Robotik Revizyon Uygulaması

#### 4. SONUÇLAR

Gelişmiş otomasyon teknolojisi, robotların hassas hareketleri ve tutarlı performanslarından yararlanılarak işletmemizde iç kaynaklar ile devreye aldığımız sistem sayesinde araç üzerinde yapılan manuel revizyonlarda 71% gibi yüksek bir oranda süre iyileştiresi sağlanırken artan üretkenlik, gelişmiş kalite, iyileştirilmiş işçi güvenliği ve veriye dayalı optimizasyon gibi çok sayıda fayda sağlanmıştır. Ayrıca uygulama farklı araç projelerinde de basit yörünge modifikasyonları ile hızlıca devreye alınabilmesi sayesinde ilk yatırım maliyeti anlamında yüksek avantaj sunmaktadır.

#### Kaynakça

Yayımlanan bildiride kurum içerisinde oluşturulan bilgiler ve veriler paylaşılmış olup, herhangi bir kaynaktan yararlanılmamıştır.



tmmob  
makina mühendisleri odası



13. Ulusal Kongre ve Sergisi



**BİLGEHAN AYDIN**  
KEMM TEKNİK GÖREVLİ  
MAKİNA MÜHENDİSİ  
PBK BİRİM SORUMLUSU  
VT, PT, MT, UT SEVİYE II

*\*Bu çalışma, sunum şeklinde  
düzenlendiğinden bildiri formatına  
dönüştürülmeden kitaba alınmıştır.*



TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI Anayasasının 135 maddesinde dayamlarak çıkarılan 6235 sayılı yasaya göre kurulmuş kamu kurumu niteliğinde bir meslek kuruluşudur.

# KAYNAK EĞİTİM VE MUAYENE MERKEZİ

- Bilimsel çalışmaların, çalıştay, sempozyum, kongrelerin gerçekleştirilmesi ,Kaynak Mühendisi vasıflandırılması ve belgelendirmesi için; “Kaynak Eğitim ve Muayene Merkezi-KEMM” kurulmuştur.



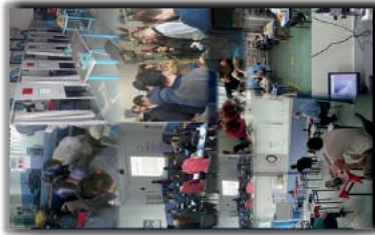
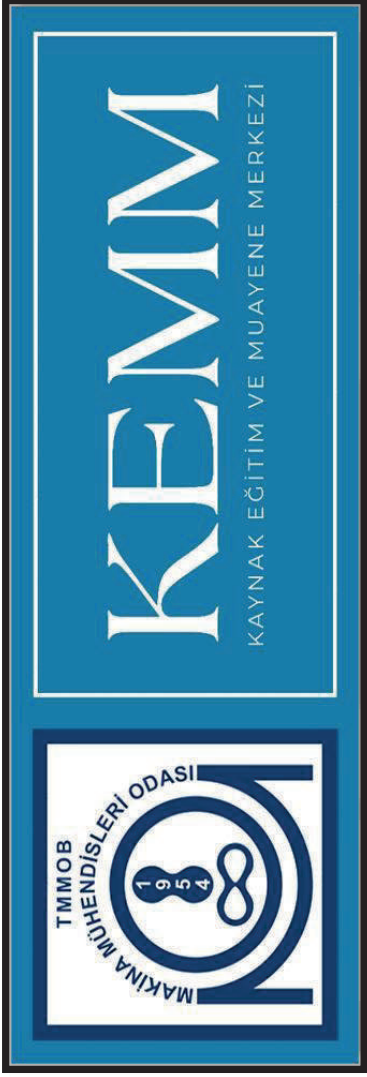




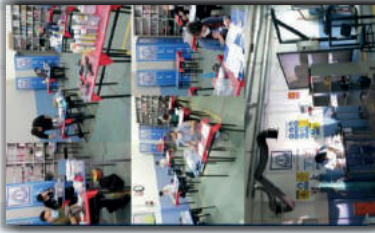
tmmob  
makina mühendisleri odası



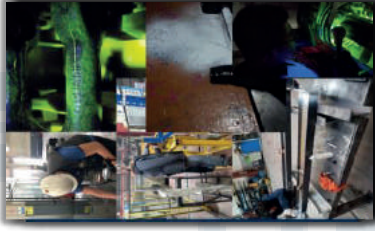
13. Ulusal Kongre ve Sergisi



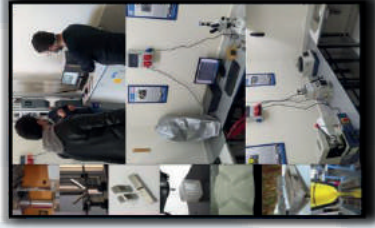
EĞİTİM



BELGELENDİRME



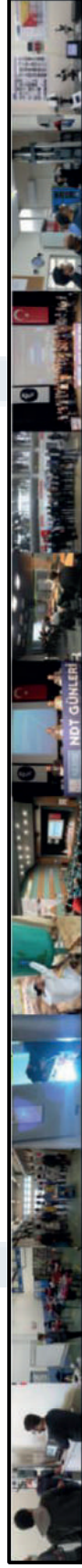
DENETİM



LABORATUVAR  
HİZMETLERİ



ETKİNLİK



TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI Anayasanın 135 maddesinde dayamlarak çıkarılan 6235 sayılı yasaya göre kurulmuş kamu kurumu niteliğinde bir meslek kuruluşudur.



# HİZMETLERİMİZ

- Bilgisayar Destekli Kontroller, Statik Yükleme Uygunlukları, Yük Taşıma Kapasitesi Kontrol Hizmetlerimiz
- İşletme Aşamasında Kullanılan Ekipmanların Yorulma Test Ve Analizleri Hizmetlerimiz
- İş Ekipmanlarının Periyodik Kontrollerinde Tahribatsız Muayene Hizmetlerimiz
- İmalat Kontrolleri Ve 3. Taraf Gözetim Hizmetlerimiz
- Tahribatsız Muayene Hizmetleri
- Tahribathı Muayene Laboratuvar Hizmetlerimiz
- WPQR-WPS Hazırlama Mühendislik Hizmetlerimiz
- Endüstriyel Rafların Statik Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi
- Kullanım Aşamasındaki Ekipmanların Replika Yöntemi ile İncelenmesi

## NDT GÜNLERİ

- MMO, yapmış olduğu etkinlikler aracılığı ile bilgiyi üreten ve bu bilgiye ihtiyaç duyan, kullanan ve geliştirilmesine yardımcı olan paydaşların aynı platformda buluşmasını amaçlayarak alanda yürütülen faaliyetlerde düzenleyici-yönlendirici konumunu güçlendirme ve çalışmaları konunun tarafları ile paylaşma amacındadır.
- Bu amaç doğrultusunda Odamızın ilgili alanlarından olan ve Kaynak-MalzemeTeknolojisi konusunda önemli bir yere sahip olan Tahribatsız Muayene sektörüne yönelik NDT Günleri etkinliğinin ilkinin 2019 yılında düzenlenmiştir.



## NDT GÜNLERİ

- Makine Mühendisleri Odası Kaynak Eğitim ve Muayene Merkezi olarak yola çıktığımızda amacımız sektörü bir araya getirmek ve sorunları tartışmaktır.
- Daha güçlü bir sektörel birliktelik yaratmak adına gerçekleştirilen ve sektöre yönelik büyük katkı sağlayan etkinliğimiz, dördüncüsü ile 16 Eylül 2023 tarihinde IV. NDT Günleri-"XIII. Kaynak Kongresine Giderken" başlığı altında tekrar düzenlenmiştir.
- Etkinliğimizde kurumsallaşma adına büyük bir hızla ilerliyoruz. Hep birlikte daha iyilerini ve sektöre ışık tutacak etkinlikleri yapacağımıza inancımız tamdır.



# I. NDT GÜNLERİ

**28.09.2019 Tarihinde gerçekleştirildi.**

- 1.0TURUM : Kaynaklı İmalat için Tahribatsız Muayene Sektörü ve Türkiye'deki Geleceği
- 2.0TURUM :Tahribatsız Muayene - Teknolojik Gelişmeler
- 3.0TURUM : Tahribatsız Muayene Sektöründe Eğitimin Önemi
- 4.0TURUM :Tahribatsız Muayene-kapanış Konuşmaları





## II. NDT GÜNLERİ

09.10.2021 Tarihinde gerçekleştirildi.

- 1. OTURUM : Kaynaklı İmalat İçin Tahribatsız Muayenenin Önemi
- 2. OTURUM : Tahribatsız Muayene-teknolojik Gelişmeler
- 3. OTURUM : Tahribatsız Muayene Sektöründe Belgelendirmenin Önemi
- 4. OTURUM : Tahribatsız Muayene-kapanış Konuşmaları



## III. NDT GÜNLERİ

### 26.11.2022 Tarihinde gerçekleştirildi.

- 1.OTURUM:Tahribatsız Muayene Alanında Sorunlar Ve Çözüm Önerileri
- 2.OTURUM:Tahribatsız Muayenede Sektörel Uygulamalar Ve Teknolojik Gelişmeler
- 3.OTURUM:Tahribatsız Muayenede Personel Eğitiminin Önemi
- 4.OTURUM:Tahribatsız Muayene Kapanış Konuşmaları



## IV. NDT GÜNLERİ

16.09.2023 Tarihinde gerçekleştirildi.

- 1. OTURUM: Tahribatsız Muayenede Uygulama Alanları
- 2. OTURUM: Tahribatsız Muayenede Teknolojik Gelişmeler
- 3. OTURUM: Tahribatsız Muayenede Personelin Önemi
- 4. OTURUM: Tahribatsız Muayene-kapanış Konuşmaları





## IV. NDT GÜNLERİ

- KATILIMCI FİRMA GÖRSELİ



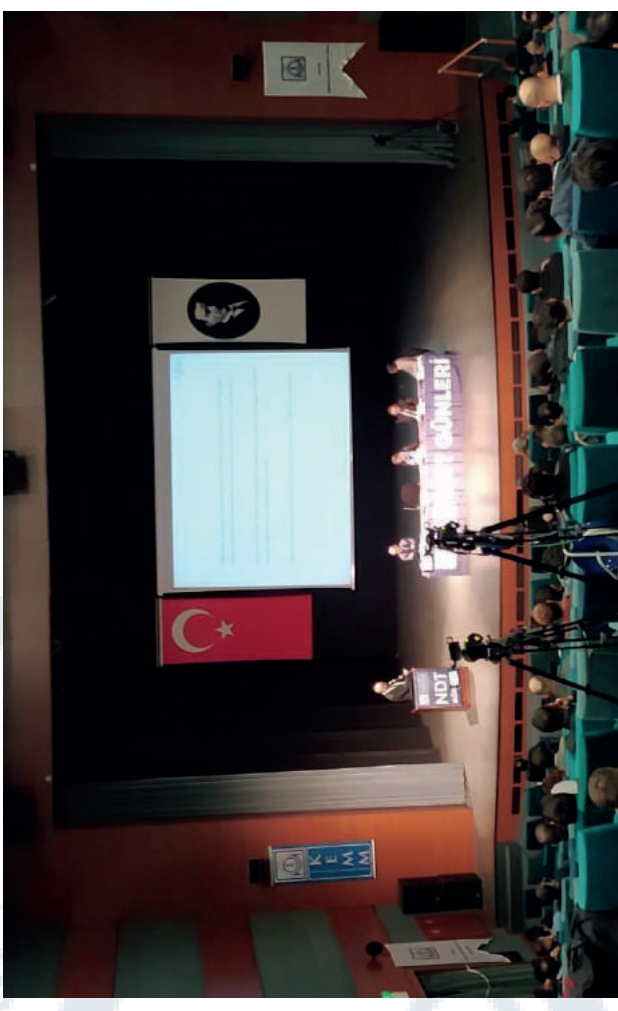
## IV. NDT GÜNLERİ

- Bu kapsamda IV. NDT GÜNLERİ etkinliğimizi 492 katılımcımız,14 konuşmacımız ve 28 destek veren kurum firmamızla tamamladık.
- Tabi ki eksiklerimiz ve yetemediğimiz noktalarımız vardır. Bunları da sizlerin destekleri ile gidermek için elimizden geleni yapacağız.
- Bu doğrultuda etkinliğimiz boyunca düzenlediğimiz anketi önemsiyoruz.



## ANKET SONUÇLARI

- NDT Günleri etkinliğinin, gerek konuşmacıları gerekse etkinlik yapısı ile sektörü tatmin ettiğini ve önemli bir açığı kapattığını görüyoruz,
- Tahribatsız Muayene sektöründeki örgütlenme eksikliğinin herkesin ortak sorunu olduğunu görüyoruz,
- Sektörel temsiliyetin kurumsal olarak yapılması gerekliliğinin ön plana çıktığını görüyoruz,



## ANKET SONUÇLARI

- Maaş dengesindeki problemler, kurumsal anlayışın hizmetlerde benimsenmemesi ve belgelendirmedeki problemler sektörün önemli sorunları olduğunu görüyoruz,
- Örgütlenme çalışmaları içinde kurumsal yapısı güçlü olan, düzenleyici ve yönlendirici rolü ile TMMOB'un aktif yer almasının sektörel bir ihtiyaç olduğunu, sektörün bunu beklediğini görüyoruz,





# NDT GÜNLERİ



Etkinliklerimizde;

- Özel sektörün NDT alanında yapmış olduğu uygulamaları ve çalışmalarını gördük.
- NDT alanında yapılan özel uygulamaları tanıma şansı bulduk.
- Ülkemizde ve dünyada NDT teknolojisini ve durumunu tartıştık.
- NDT sektöründe eğitimin ve belgelendirmenin önemini değerlendirdik.
- NDT eğitimindeki teknolojik altyapıyı tartıştık.
- NDT personellerinin Türkiye'deki durumunu konuştuk.
- Fuar alanımızda çok önemli uygulamalara da şahit olduk.

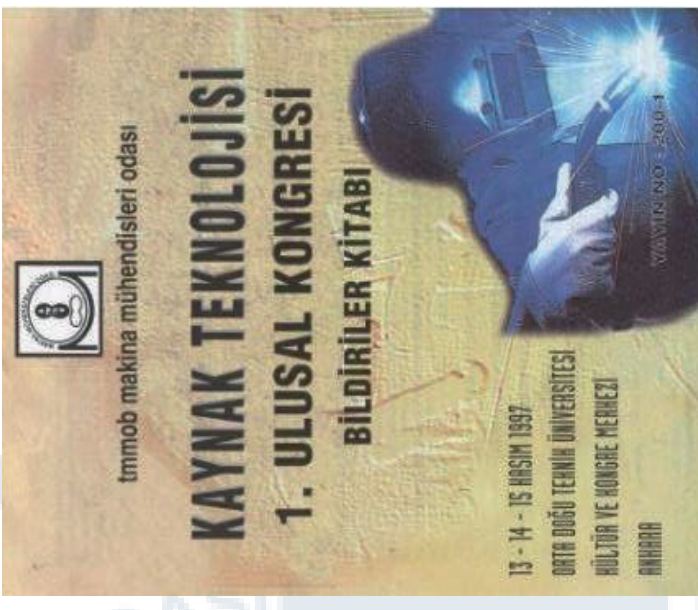
## NDT GÜNLERİ

- Bu kapsamda 16 oturumda toplam 60 konuşmacı etkinliğimize katkıda bulundu ve NDT ile ilgili çok faydalı paylaşımlar yapıldı.
- Yapmış olduğumuz 4 etkinliğimizi toplam 1500 den fazla katılımcı ziyaret etti.
- Fuar alanında ise 84 firma stant açtı ve bizimle hizmetlerini, teknolojilerini paylaştılar.
- Sayılara baktığımızda etkinliğimizin önemini ve ihtiyacını açıkça görüyoruz.



# NDT GÜNLERİ-KAYNAK KONGRESİNE GİDERKEN...

- Etkinliğimizin en önemli amaçlarından biri ise burada elde ettiğimiz bilgileri ve verileri XIII.KAYNAK KONGREMİZE taşımaktır.
- Bildiğiniz gibi kaynaklı imalat sektörünün ulusal anlamda tek ve en önemli etkinliği KAYNAK TEKNOLOJİSİ ULUSAL KONGRE VE SERGİSİ'dir.





## 13. ULUSAL KAYNAK KONGRESİ

- Kaynaklı imalat , malzeme teknolojisi ve kalite gibi konuların tartışıldığı kongremizde , tahribatsız muayene konusu da önemli bir sektörel konudur.
- Kongremiz sayesinde sektörümüzün dayanışma içinde olduğu konuları da detaylı bir şekilde tartışma şansı buluyoruz.



## 13. ULUSAL KAYNAK KONGRESİ

- Kaynak ve malzeme teknolojisi alanında düzenleyici ve denetleyici kurumların tarafsız, bağımsız ve ticari kaygıdan uzak olması gerektiğini belirtiyor, bu konuda TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI olarak çalışmalarımızı sürdürüyoruz.
- Bu konuyla ilgili güçlü adımlar atmaya ve kurumsal ilişkiler kurmaya devam edeceğiz.



## 13. ULUSAL KAYNAK KONGRESİ

- Bu vesile ile kaynak kongremize katkı koyan herkese teşekkür ediyoruz..
- Bir sonraki etkinliğimizde görüşmek üzere diyorum...



**ISI DEĞİŞTİRİCİ VE BUHAR JENERATÖR BORULARININ GİRDAP  
AKIMLARI TESTİ (İÇ KISIMDAN BORU TESTİ), PROPLAR VE İLGİLİ  
STANDARTLAR**

***EDDY CURRENT TEST OF HEAT EXCHANGER AND STEAM  
GENERATOR TUBE (INSIDE TUBE TEST)  
PROBES AND RELATED STANDARDS***

*Neslihan Mahmutyazıcıoğlu*  
**Kimya Mühendisi, Tahribatsız Muayene Uzmanı  
Genel Müdür**

**NONNDT Teknik Kontrol Eğitim Vasıflandırma Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.  
(SECTOR Cert-Almanya'nın yetkili Eğitim ve Sınav Merkezi)  
Güzelyalı Alınteri Sok.No:4 PENDİK-İSTANBUL  
Tel: +90 (216) 447 52 30  
e-Mail: info@nonndt.com  
www.nonndt.com**

**İ.ANAHTAR SÖZCÜKLER:**

Girdap Akımı, Isı Değiştirici-buhar jeneratörü boruları, Proplar, Ayar ve test, Değerlendirme, Standartlar

**İİ. KEY WORDS:**

Eddy Current, Heat Exchanger-steam generator pipes, Probes, Setting and Testing, Evaluation,Standards

### **iii.içİNDEKİLER**

#### **1- GİRİŞ**

#### **2- ISI DEĞİŞTİRİCİLERİN VE BUHAR JENERATÖRLERİ ÇALIŞMA PRENSİPLERİ**

#### **3- ISI DEĞİŞTİRİCİ VE BUHAR JENERATÖRÜ BORULARINDA İŞLETMEDE OLUŞAN KRİTİK HASARLAR,**

#### **4- TESTİN YAPILIŞI**

##### **4.1- Proplar, sınır frekans**

##### **4.2- Referans borudaki yapay hata sinyalleri**

##### **4.3-Düzenegin ayarlanması ve muayenenin yapılışı**

#### **5- DEĞERLENDİRME-KAYIT,**

#### **6- İLGİLİ STANDART VE TEKNİK KURALLAR**

#### **7- SONUÇ**

#### **KAYNAKLAR**

## 1. GİRİŞ

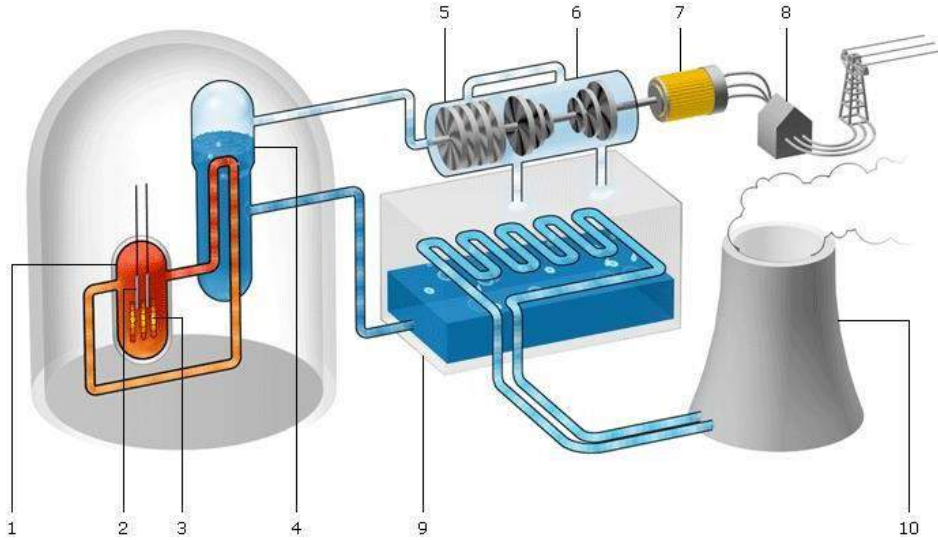
Buhar jeneratörü ve ısı değiştirci borularının muayenesi kimya ve enerji üretimi endüstrisinde gerçekleştirilen periyodik bakımlarının önemli bir kısmını oluşturur. Bunun nedeni; yüksek güvenlik ve teknoloji gereklilikleri ve özellikle nükleer tesislerde çevreyi korumadır (radyasyona karşı koruma).

## 2. ISI DEĞİŞTİRİCİ VE BUHAR JENERATÖRLERİNDE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

Nükleer enerji santrallerinde reaktörde üretilen ısı, buhar jeneratörlerinde birincil devreden ikincil devreye aktarılır. Şekil 1 de nükleer enerji santrallerinde kullanılan basınçlı su reaktörlerinin birincil çevriminde yer alan bir (U-borular) buhar jeneratörü ve diğer devreler gösterilmektedir. U Şeklinde bükülmüő olan borular (örneğin et kalınlığı 1,2 mm; iç çap 19,6 mm) östenitik malzemeden (örneğin Incoloy 800) üretilir ve düz boru bölgelerinde yaklaşık 6 m. uzunluğa ulaşır.

Borular her iki ucundan yaklaşık 600 mm kalınlığında ferritik çelikten üretilmiş, alt tarafında birkaç milimetre kalınlığında östenitik çelikten giydirme ile üretilmiş bir plaka olan, bir boru aynasına sabitlenirler. Boruların sabitlenmesi boru tabanının üst ve alt kısmına mekanik haddeleme ile sağlanır. Boru tabanının üzerinde kalan düz boru bölgesinde borular, birçok düzlemde yer alan mesafe tutucular üzerine yerleştirilir. Boruların bükülme bölgesinde bu amaca hizmet eden salınım sınırlayıcılar bulunur. Reaktör basınç tankından gelen birincil çevrime ait su yüksek basınç ve sıcaklık altında giriş nozulundan buhar jeneratörlerinin giriş haznesine ulaşır ve borular içinden geçerek çıkış haznesine ulaşır. İkincil çevrimin soğutma suyu buhar jeneratörlerinin üst kısmında buharlaşır (bu sayede ısıyı uzaklaştırır) ve jeneratör ile bağlantılı olan bir türbine iletilir.

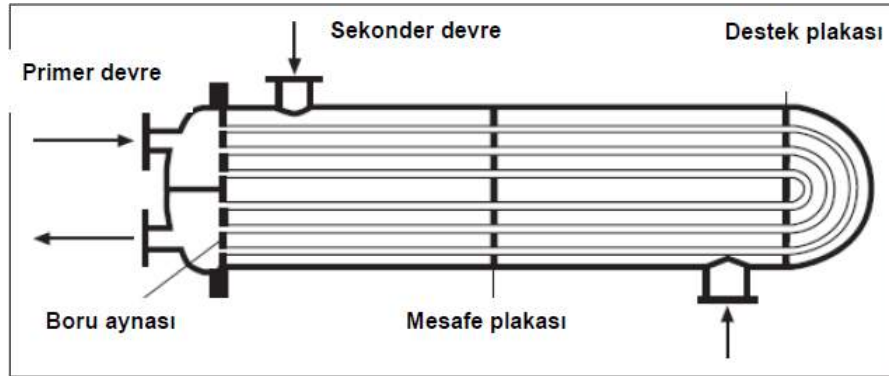
### (5) Yüksek basınç türbini (6) Düşük basınç türbini (7) Jeneratör (8) Transformatör



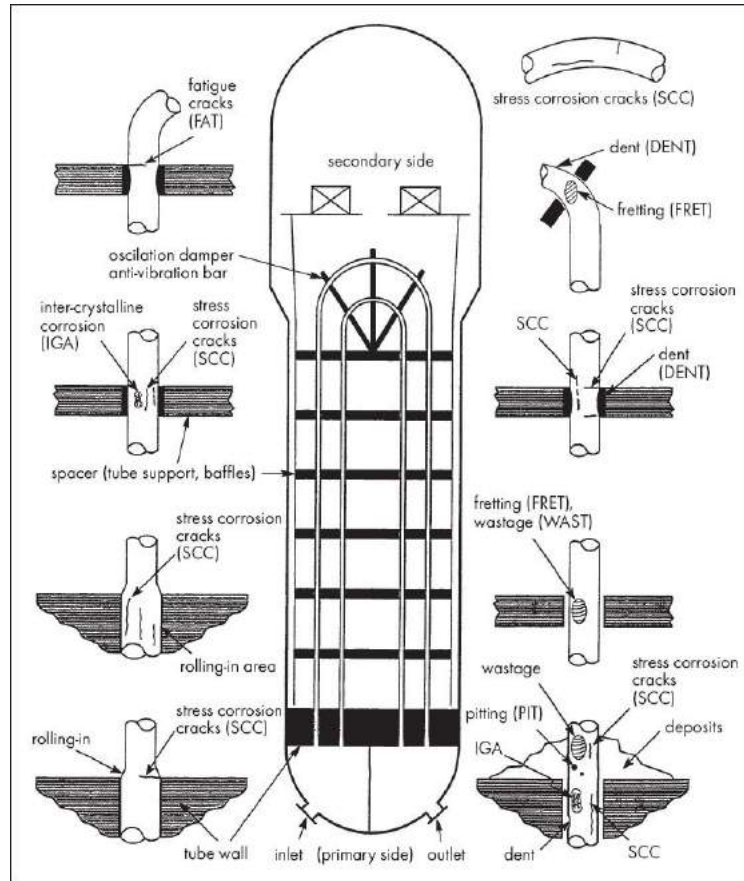
(1) Reaktör basınçlı (2) Kontrol çubukları (3) Yakıt elemanları (4) Buhar jeneratörü kabı (9) Kondensatör  
Şekil 1. Nükleer Enerji Santralinde buhar jeneratörü ve diğer devreler



### 3- ISI DEĞİŞTİRİCİ VE BUHAR JENERATÖRÜ BORULARINDA İŞLETMEDE OLUŞAN KRİTİK HASARLAR



Şekil 2. Isı Değiştiricinin basit şematik yapısı



Şekil 3. Buhar jeneratörü basit şematik yapısı ve olası kritik hasarlar



Hasarın Tipi	Açıklama/Özellikler	Orijin/Nedeni	Hasarın Konumu
<b>Aşınma (FRET)</b>	Büyük hacımlı mekanik boru cidarı aşınması	Akıştan kaynaklanan salınımlar	Güçlü akış olan bölgeler: üst mesafe tutucu, vibrasyon çubukları
<b>Birikinti altı korozyonu (WAST)</b>	Geniş bölge temas korozyonu, asimetrik geometri	Dağlayıcı korozif malzeme tortuları (Fosfat)	Akışın az olduğu bölgeler: Makinato bölgesinin / boru aynasının üst kenarı, aşağıya yakın mesafe tutucular (çıkış tarafı)
<b>Karınçalanma (PIT)</b>	Nokta şeklinde temas korozyonu (delikler), bazen derine uzaması	Bakır tuzlarının birikmesi ör.,şiddetli korozif maddeler (klor, sülfat); soğutma suyu kimyası	Makinato bölgesinin /boru aynasının üst kenarı ve boruların iç kısımları
<b>Taneler Arası Korozyon (IGA)</b>	Taneler arası korozyon, yapısal tanelerden kopmalar, büyük alana yayılma , küçük hata hacmi	Dağlayıcı korozif ürünlerin tane sınırlarında birikmesi	Makinato bölgesinin / boru tabanının üst kenarı ve aşağıya yakın mesafe tutucular
<b>Gerilimli Korozyonla Çatlama (SCC)</b>	Dağlanma ve mekanik gerilimlerden kaynaklanan gevreklik, nispeten küçük hacimler (dar), ama belirli koşullarda derine uzamalar -> çatlak oluşumu (eksensel veya radyal)	Mekanik gerilmeler ve dağlayıcı korozif ürünlerin birikmesi (ilave olarak üretimden kaynaklanan artık gerilmeler)	Makinato bölgesinin / boru tabanının üst kenarı, aşağıya yakın mesafe tutucular ve vibrasyon çubukları
<b>Borunun ovalleşmesi, ezilme (DENT)</b>	Kesit alanında deformasyon ve daralma - > bazen çatlak oluşumu	Üretim yöntemi (bükme), nakliye, taşıma sırasındaki deformasyonlar, ferritik tortuların (magnetit) hacmindeki artış	U-dirsekleri , Makinato bölgesinin/boru tabanının üst kenarı ve aşağıya yakın mesafe tutucular
<b>Yorulma ve yorulma çatlağı (FAT)</b>	Çevresel çatlaklar	Yük değişimine bağlı olarak aşınma ve korozyon (jeneratörün çalışması ve durması)	Yukarıya yakın mesafe tutucular

**Tablo 1. Buhar jeneratörü borularında işletmede oluşan kritik hasarlar, nedenleri ve konumları**

## 4-TESTİN YAPILIŞI

### 4.1 Proplar, sınır frekans

Bir ısı değiştirici veya buhar jeneratörü içindeki borular, boru içinden sürülebilen iç proplar aracılığıyla test edilirler. Boruların iç proplar aracılığıyla testinde, prensip olarak, çevresel dış bobin ile testte geçerli olan düzenlemeler geçerlidir. Bu durumda borunun iç kısmı proba yakın olduğundan borunun iç yüzeyindeki değişiklikler aynen, borunun dışındaki değişikliklerin eş eksenli dış çevresel proba etki ettiği gibi etki eder.

$$\eta = \frac{D_S^2}{D_I^2} = \left( \frac{D_S}{D_I} \right)^2$$

$\eta$ : Dolgu faktörü

$D_S$  : bobin çapı (mm)

$D_I$  : boru iç çapı (mm)

Not: İç çevresel bobin ile test yaparken,  $\eta = 0,9$ 'luk dolgu faktörü hedeflenir, ancak  $\eta = 0,8$  değerinin altına düşmemelidir.



Şekil 4. İç çevresel prop (Zetec)

Sınır frekansı  $f_g$  aşağıdaki gibi belirlenir:

ince cidarlı borular için:

$$f_g = \frac{5066}{t \cdot D_i \cdot \sigma \cdot \mu_{rel}} [Hz]$$

$f_g$  = Sınır frekans (Hz)

$\sigma$  = İletkenlik (MS/m)

$\mu_r$  = Rölatif geçirgenlik

$D_i$  = Parçanın iç çapı (cm)

$t$  = Et kalınlığı (cm)

**Standart frekans (Cecco kavramı)**

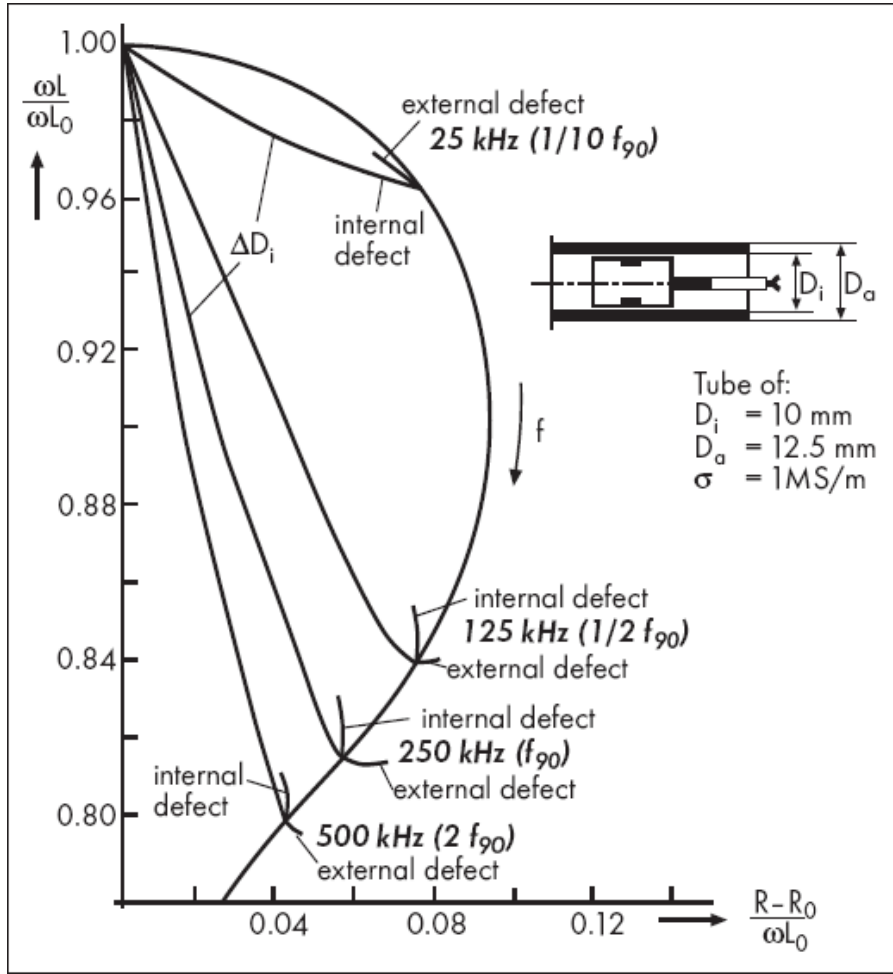
Ferromanyetik olmayan boruların muayenesinde frekans seçimi için aşağıdaki deneysel yöntemlerle elde edilmiş formül kullanılır, standart frekans değerinde iç ve dış hatalar arasında faz farkı 90 dereceye ulaşır (Cecco'ya göre).

$$f_{90} = \frac{300}{\sigma \cdot t^2} [kHz]$$

$\sigma$  = spesifik elektriksel iletkenlik (MS/m)

$t$  = cidar kalınlığı (cm)

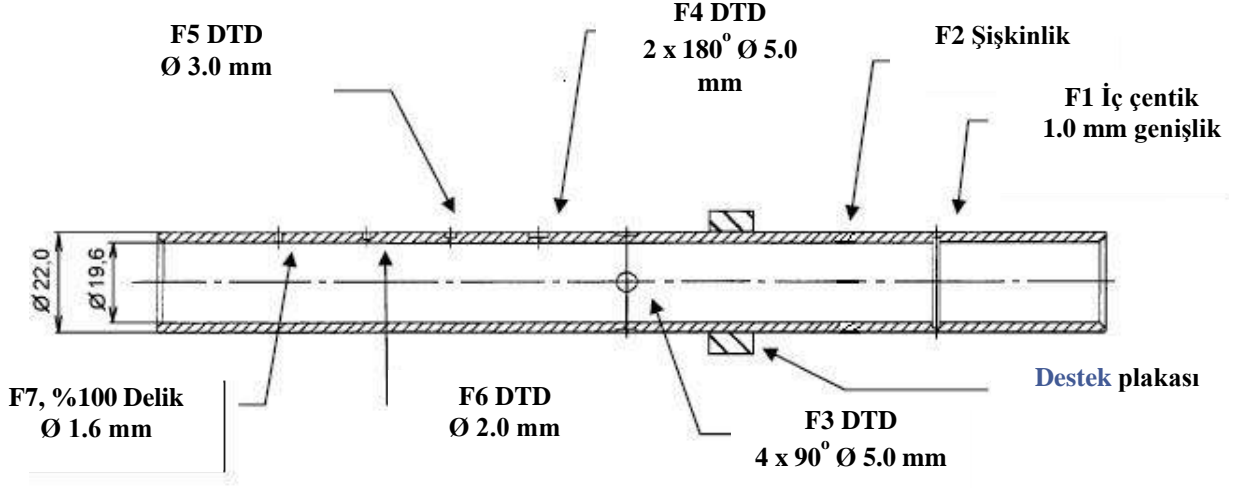
$f_{90}$  = standart frekans (kHz)



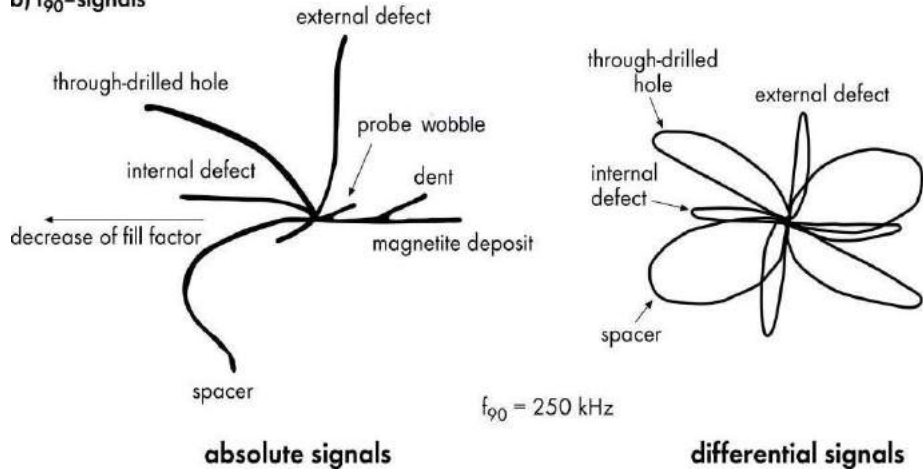
Şekil 5. Bir ferromanyetik olmayan boruda farklı frekanslarda iç ve dış hatalardan alından sinyaller

Şekilde iç çapı 10 mm ve cidar kalınlığı 1,25 mm olan, ferritik olmayan bir boru örneği üzerinde Cecco'ya göre frekans seçimi gösterilmiştir.

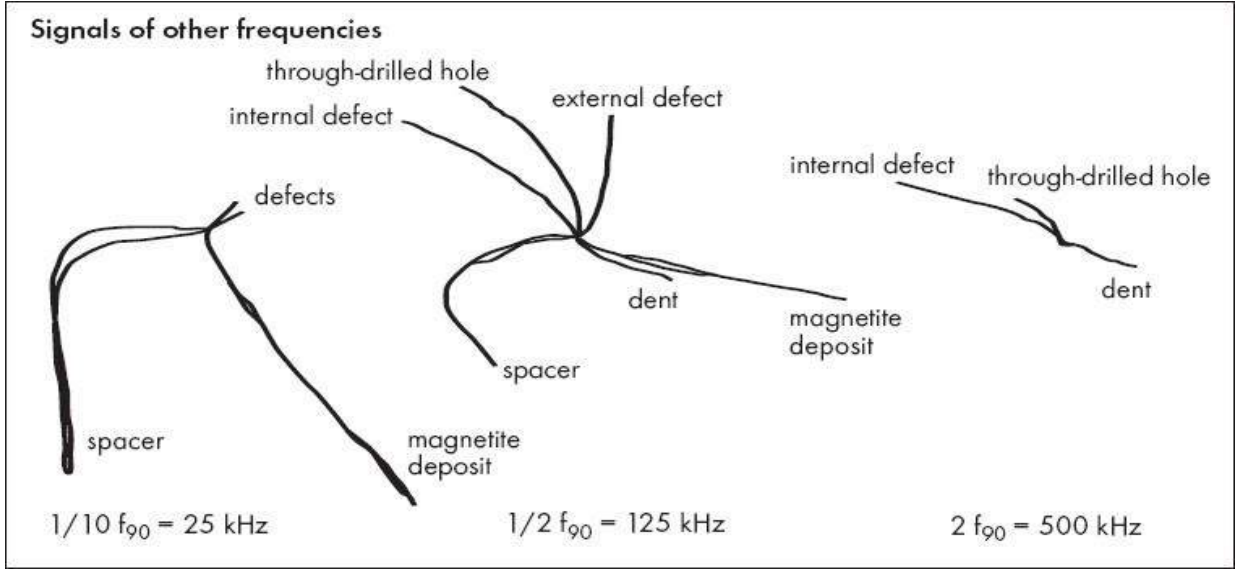
## 4.2 Referans borudaki yapay hata sinyalleri



### b) $f_{90}$ -signals



Şekil 6 Standart frekansta referans borudaki yapay hata sinyalleri (DTD =Düz tabanlı delik)



**Şekil 7. Farklı  $f_{90}$  frekanslarında referans borudaki yapay hata sinyalleri**

Düşük frekanslarda (25 kHz) iç ve dış hatalar benzer sinyal genliğinde görüntülenir, mesafe tutucunun gürültü sinyali ve boru dış yüzeyindeki ferromanyetik çökteller, hatalara göre daha büyük genlikte sinyal oluştururlar.

Orta büyüklükteki frekanslarda (125 kHz) iç ve dış hatalar arasındaki ayrılma açısı artar. Borunun iç tarafında bulunan hataların (iç hatalar ve çökmeler (ezilmeler)) sinyal genlikleri artarken, dış hataların ve ferromanyetik çöktellerin genlikleri azalır. Yalnız burada ferromanyetik çöktellerin dış hatalara karşı bir farkı ortaya çıkmaktadır: artan frekansla bunların sinyal fazı saat yönünün aksine döner.

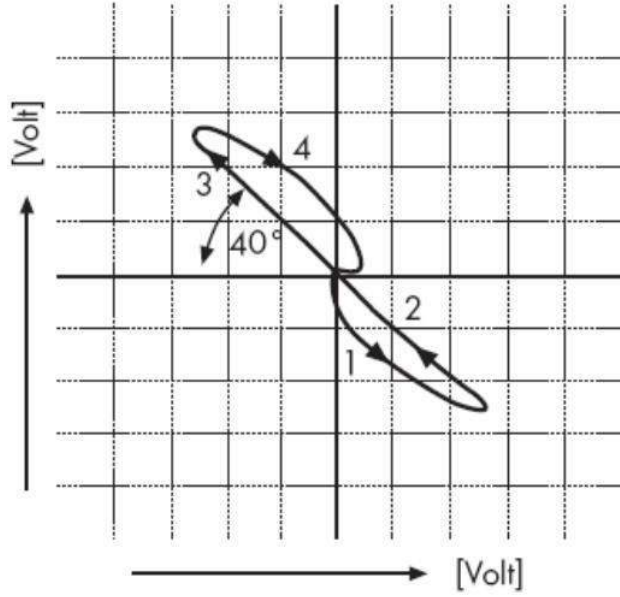
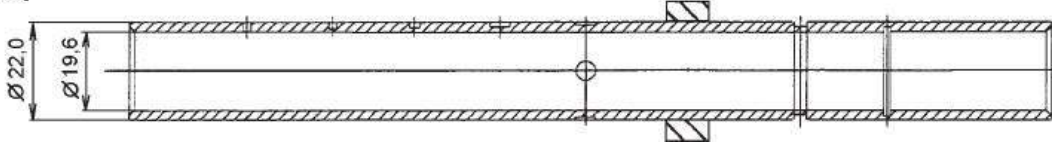
Çok yüksek frekanslar (500 kHz) faz yayılmasının artmasına yol açar. Ancak yüzey etkisine (skin efekt) bağlı olarak, dış hatalar artık tespit edilemez olur. Aynı şekilde, mesafe tutucuların ve boru dış yüzeyindeki ferromanyetik çöktellerin gürültü sinyalleri tespit edilemez hale gelir. Buna karşın, içeride bulunan hatalar (iç hatalar ve ezilmeler veya genişlemeler) çok büyük genlikte sinyal üretirler.



### 4.3 Düzeneğin ayarlanması ve Muayenenin yapılışı

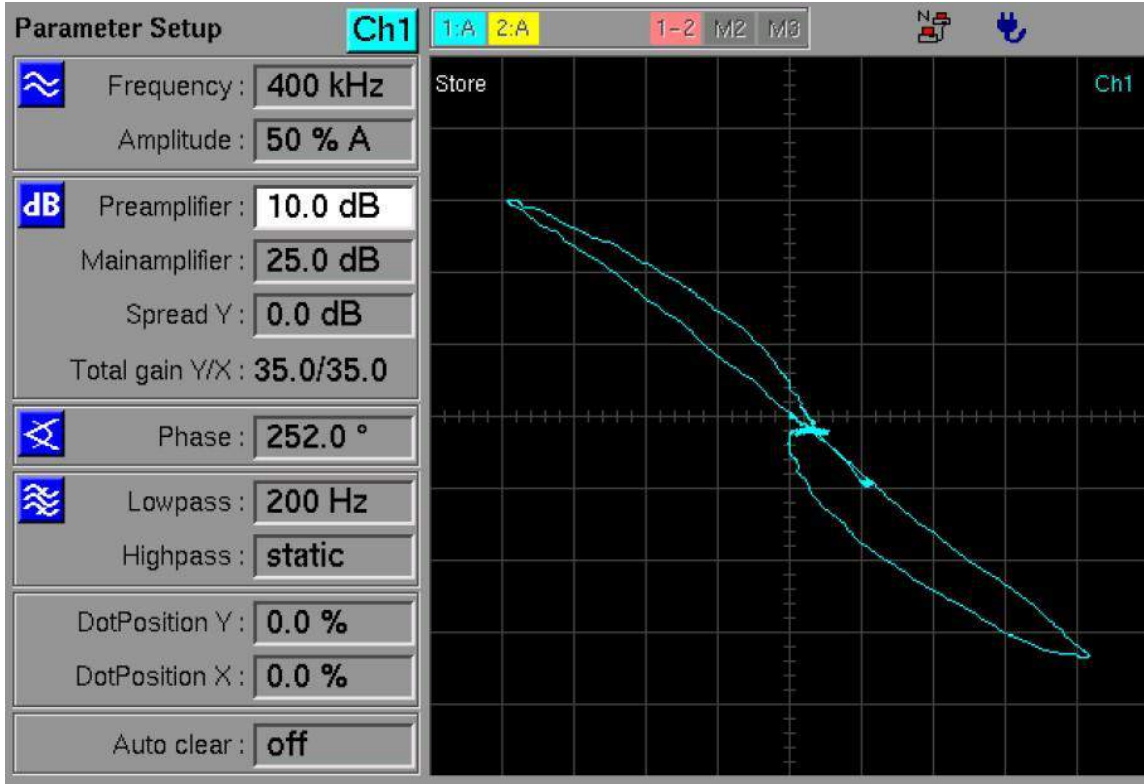
Material: Incoloy 800

prozentuale Wanddickenschwächung	100	80	60	40	20	Abstandshalter- simulationsring	Außen- nut 10%	Innenut 20%
Bohrungsdurchmesser [mm]	1,7	2,0	2,8	4,8	4,8		3,2mm breit	1,6mm breit

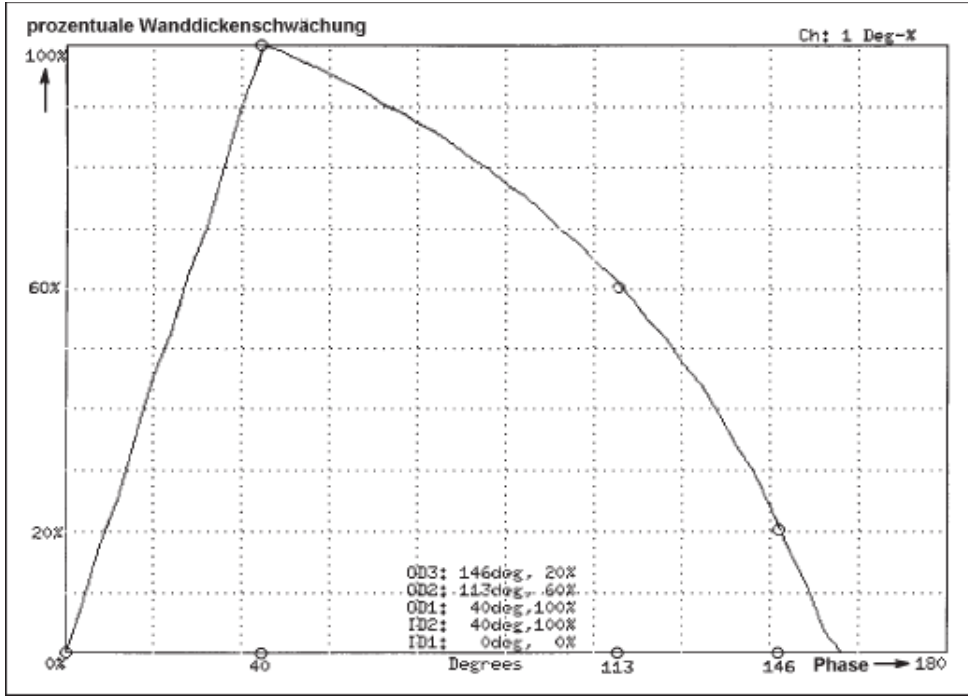


Şekil 8. Referans boruda ayar yapılması

Muayene sisteminin kalibrasyonu-ayarı yapılırken referans borudan alınan yapay hata sinyallerine dayanan bir **faz-analizi eğrisi** oluşturulur Boydan boya delikten alınan sinyal **fazı 40°'ye ayarlanır**. Bu ayarda, prob sallanması (yalpalması) ve dolgu faktörü etkisi sinyali yataya alınmıştır.



Şekil 9. %100 delikten alınan sinyal görüntüsü (40 derece ayarlanmış)

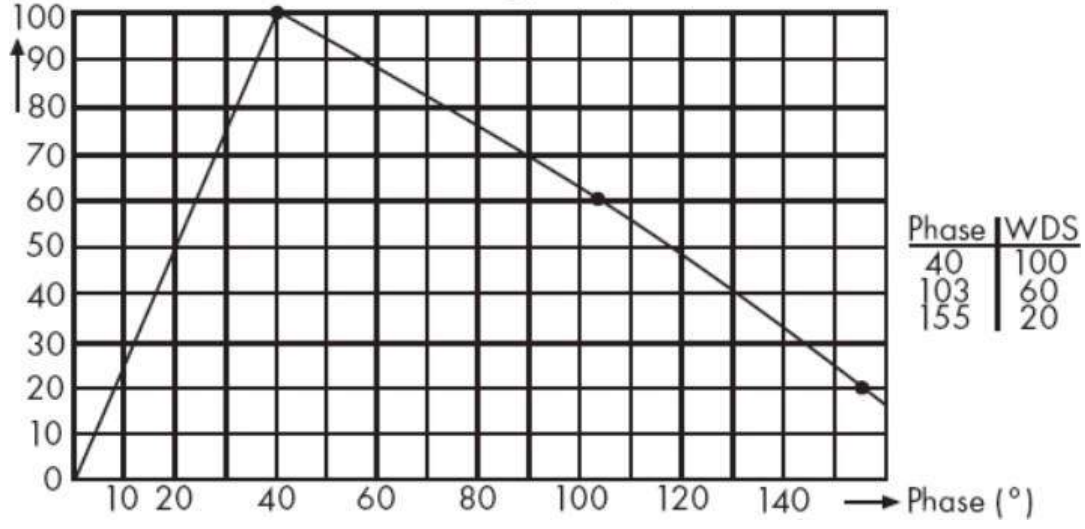


**Şekil 10. Değerlendirme eğrisi**

Bu şekilde 3 yapay hatadan sinyal alınır (genellikle boydan boya delik (%100 delikten , % 60 ve % 20 et kalınlığı azalmasına karşılık gelen düz tabanlı deliklerden ). Bu sayede; dış hatalar için, her bir cidar kalınlığı azalmasını sinyal fazının bir fonksiyonu şeklinde gösteren bir değerlendirme eğrisi oluşturulur.

### Basisfrequenz 400 kHz

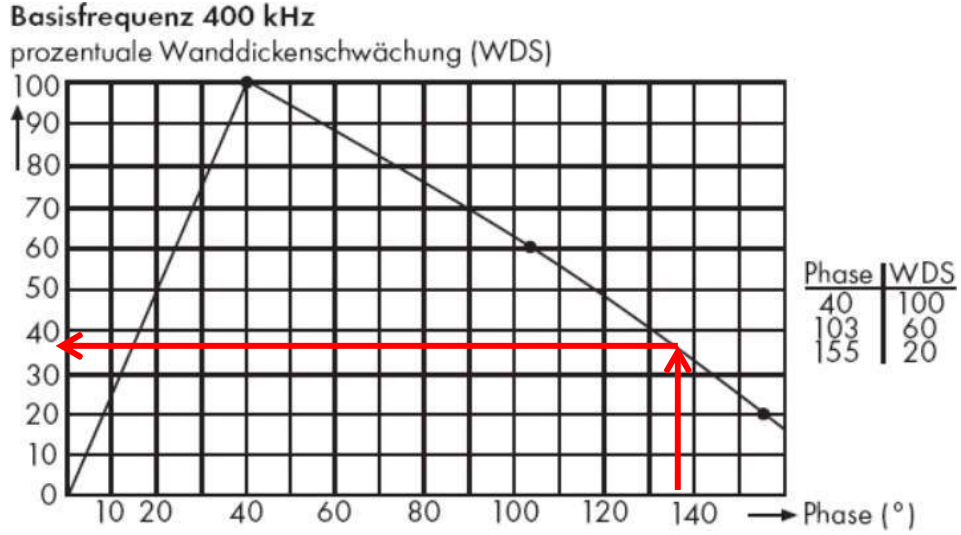
prozentuale Wanddickenschwächung (WDS)



Şekil 11. 400 KHz de oluşturulmuş değerlendirme eğrisi

Sadece küçük bir faz açısı bölgesinde yer aldıkları için, iç hatalar bir doğru ile gösterilir. Böylelikle; veri analizinde, ölçülen sinyal fazına karşılık gelecek şekilde, iç hatalar  $40^{\circ}$ 'den küçük, dış hatalar ise  $40^{\circ}$ 'den büyük olacak şekilde, her bir sinyal kendisine neden olan cidar kalınlığındaki azalma değeri ile eşleştirilir.

## 5. DEĞERLENDİRME VE KAYIT



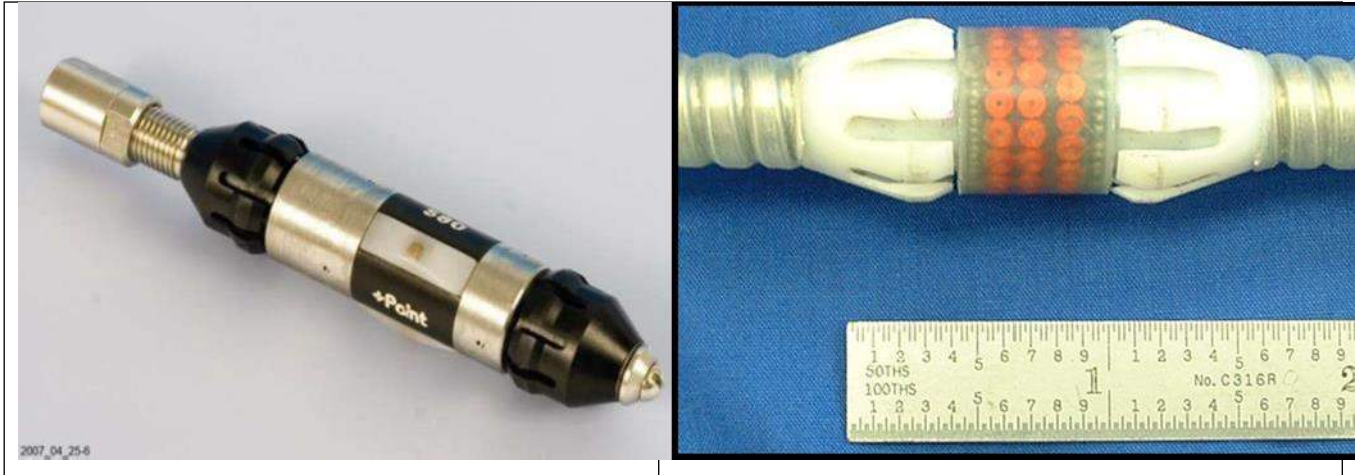
Şekil 12. 400 kHz de alınan bulgu sinyali

400 kHz de yapılan testte hatadan alınan sinyalin faz açısı yaklaşık  $135^{\circ}$  de, et kalınlığındaki azalma  $> \%30$  Örneğin DIN 25435-6'ya göre et kalınlığında  $\%20$ 'lik bir zayıflama olması durumunda bulgular kaydedilecektir. Et kalınlığında  $\%30$ 'luk bir azalma olması durumunda sinyaller bulgu sinyali olarak değerlendirilecektir (kabul sınırı)

Buhar jeneratörü ve ısı değiştirici borularının muayenesinde standart problemlerle kesin olarak yorumlanamayan sinyallerin alınması durumunda DIN 23435-6'ya göre başka prob tipleriyle farklı analizlerin yapılması gereklidir. Kural olarak bu analizler bobinleri, standart boru içi proba göre daha küçük ve girdap akımlarının daha iyi nüfuz ettiği etkileşim hacmi gösteren örneğin döner problemlerle gerçekleştirilir.

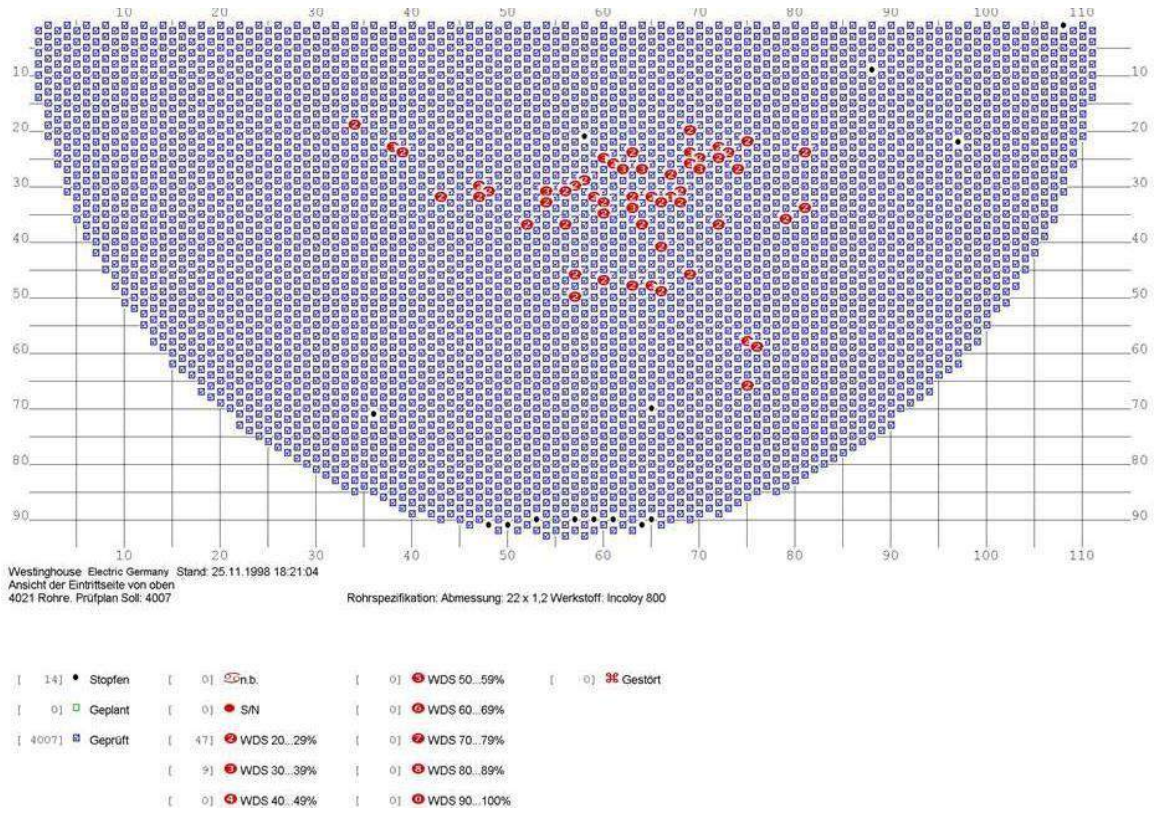
Resimde Zetec Firmasına ait bir döner prop ve çok elementli bir X prop görülmektedir. Bu propta,

- Prop, Pancake bobinlerinden oluşmaktadır
- İki veya üç halkalı bobin mevcuttur
- Bir halka bobin çapının yarısı kadar kaydırılmıştır.



şekil 13. Boru içi döner prop (solda) ve eddy array probu- x prop (sağda), Zetec propları





Şekil 14. Bulgu tespit edilen boruların işaretlenme ve kayıt sistemi (Westinghouse)

Kayıt altına alınması gerekli olan her bulgu, veri değerlendirmesine ait sonuç listelerine işlenir, Bulguların dağılımını ve sıklığını gösteren boru aynası çizimleri hazırlanır. Bulgu tespit edilen borular burada işaretlenir.

## 6-İLGİLİ STANDART VE TEKNİK KURALLAR

Nükleer santrallerdeki buhar jeneratörü ve ısı değiştirici borularının muayenesinde aşağıdaki standart ve teknik kurallar önemlidir:

<b>KTA 3201.4</b>	<b>ASME XI</b>
“periyodik muayeneler”	"Nükleer Reaktör Tesis Bileşenlerinin Hizmet İçi Denetimi"
<b>DIN 25435-6</b>	<b>ASME Sec. V, Article 8</b>
“Buhar jeneratörü borularının girdap akımı muayenesi”	“girdap akımı muayenesi”

**Tablo 2. Standart ve Teknik Kurallar**

DIN 25435-6 standardının atıfta bulunduğu referans ve teknik kurallar

<b>EN ISO 9712</b>	Tahribatsız muayene — Tahribatsız muayene personelinin vasıflandırılması ve sertifikasyonu
<b>EN ISO 12718</b>	Tahribatsız muayene - Girdap akımı testi -Terminoloji
<b>EN ISO 15549</b>	Non-destructive testing-Eddy current testing-General principles
<b>EN ISO 15548-1</b>	Tahribatsız muayene - Girdap akımı testi için teknik ekipman -özellikleri ve doğrulanması
<b>EN ISO 15548-2</b>	Tahribatsız muayene - Girdap akımı testi için Proplar-özellikleri ve doğrulanması
<b>EN ISO 15548-3</b>	Tahribatsız muayene - Girdap akımı testi için Test sistemi-özellikleri ve doğrulanması
<b>KTA 1202</b>	Requirements for the Testing Manual
<b>KTA 3201.4</b>	Components of the Reactor Coolant Pressure Boundary of Light Water Reactors Part 4: In-service Inspections and Operational Monitoring
<b>VGB R 516</b>	Kılavuz - Methodik für das vorgehen bei der Qualifizierung von Zerstörungsfreien Prüfungen

Almanyada nükleer santrallerin kapatılması kararı nedeniyle 2019'dan bu yana, ilgili alman kuruluşları ısı değiştirici borularının iç kısımdan testi için dört bölümlük bir standart serisi üzerinde çalışmaktadırlar, buna göre standart serisinin

**1. Bölümü Genel temel bilgileri,**

**2. Bölümü Ferromanyetik olmayan malzemeden yapılmış boruların testini,**

**3. Bölümü Ferromanyetik malzemelerden yapılmış boruların testini (DC ön mıknatıslamalı yöntem),**

**4. Bölümü Ferromanyetik malzemelerden yapılmış boruların - uzak alan yöntemi ile testini içerecektir.**

## **SONUÇ**

Otomatik olarak uygulanma avantajı nedeniyle yaygın olarak kullanılmaya başlayan girdap akımları muayenesi ile yanına ulaşılamayan muayene bölgeleri hakkında bilgi sahibi olma imkanı vardır.

Muayenelerin güvenilir bir şekilde yapılabilmesi için personelin vasıflı olması gereklidir.

Muayene personeli,

- Isı değıştirici ve buhar jeneratörünün yapısı ve çalışma şekli.
- Olası kusurların oluşumu ve görünüşleri
- Referans boru ile cihazı ayarlama
- Talimatta tanımlanmış girdap akımı tekniğini kullanılarak iç çevresel proplar ile muayeneyi yapma,
- Boruların bütünlüğünü kontrol etme,
- Sonuçları kayıt etme ve dokümantasyon

konularında yetkin olmalıdır.

Daha hızlı ve güvenilir muayene için cihaz teknolojisi ve cihaz yazılımları gün geçtikçe geliştirilmektedir.

Muayene personeli ayrıca gelişmiş teknikleri ve yazılımları konusunda eğitim almalıdır.

## **KAYNAKLAR**

1- KTA 3201.4

2-DIN 25435-6

3-ZETEC Sonden

4- Westinghouse test document

5- Eddy Current Training Document (NONNDT-Vector Tube)

6- Side applications

7-<https://www.ensi.ch/de/2017/11/07/der-dampferzeuger>

## KAYNAKLARIN DİJİTAL RADYOGRAFİSİ

H. İlker Yelbay<sup>1</sup>, C. Hakan Gür<sup>1,2</sup>

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

<sup>1</sup>Kaynak Teknolojisi ve Tahribatsız Muayene Araştırma/Uygulama Merkezi

<sup>2</sup>Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

[yelbay@metu.edu.tr](mailto:yelbay@metu.edu.tr), [chgur@metu.edu.tr](mailto:chgur@metu.edu.tr)

Kaynaklı imalat sonrasında istenilen kalite seviyesinin sağladığının ispatı için tahribatsız muayene yöntemleri kritik önemdedir. Radyografik muayene tekniği, iç kusurların tespit edilmesinde sağladığı avantajlar ve parça kesitinin görüntüsünün elde edilip arşivlenebilmesi nedeniyle birçok uygulamada tercih edilmektedir. Teknolojik gelişmeler sonucunda, sağladığı avantajlarla film radyografisine alternatif olan dijital detektörlerin doğru ve verimli olarak kullanılabilmesi için bu dijital tekniğin temel prensipleri kullanıcılar tarafından iyi anlaşılmalıdır. Bu çalışmada kaynaklı imalatta kullanılan dijital radyografi standartları ve önemli gereklilikler açıklanmıştır.

## DIGITAL RADIOGRAPHY of WELDS

H. İlker Yelbay<sup>1</sup>, C. Hakan Gür<sup>1,2</sup>

Middle East Technical University

<sup>1</sup>Welding Technology and Nondestructive Testing Research/Application Center

<sup>2</sup>Metallurgical and Materials Engineering Department

[yelbay@metu.edu.tr](mailto:yelbay@metu.edu.tr), [chgur@metu.edu.tr](mailto:chgur@metu.edu.tr)

Non-destructive testing methods are critical to prove that the desired quality level is achieved after welded manufacturing. The radiographic inspection technique is preferred in many applications due to its advantages in detecting internal defects and the ability to obtain and archive the image of the part cross-section. As a result of technological developments, the basic principles of this digital technique should be well understood by users in order to use digital detectors, which are an alternative to film radiography with the advantages they provide, correctly and efficiently. In this study, digital radiography standards and important requirements used in welded manufacturing are explained.

## 1.0 Giriş

Radyografik muayene yüzyılı aşkın bir süredir etkin bir şekilde kullanılan bir tahribatsız muayene yöntemidir. İlk endüstriyel uygulamaları, 1910'lu yıllarda başlamıştır. İlk cihazlarla ince parçalar test edilebilmiş, daha sonra yüksek enerji ile çalışan cihazlar geliştirilince kalın parçalar da incelenebilmiştir. Görüntüleme için başlangıçta floroskopik ekranlar kullanılmıştır. 1918'de geliştirilen radyografik filmler sayesinde görüntü kalitesi yükselmiş ve görüntüleri kayıt altına almak mümkün hale gelmiştir.

Film radyografisi uzun yıllar boyunca özellikle sonuçların kayıt altına alınabilmesi nedeniyle çok kullanılan tahribatsız muayene yöntemi olmuştur. Gelişen bilgisayar teknolojisi ile hem x-ışını cihazlarında hem de görüntüleme sistemlerinde gelişmeler olmuştur. Görüntüleme sistemlerinde film yerine dijital dedektörler önce tıp alanında sonra endüstriyel uygulamalarda kullanılmaya başlanmış ve günümüzde çoğu uygulamada film radyografisi yerine tercih edilir duruma gelmiştir.

## 2.0 Analog ve Dijital Görüntü Kavramları

Film radyografisinde görüntü elde etme işlemi çok ince PVC bir tabakanın üzerine iki tarafı olarak kaplanmış gümüş bromür solüsyonundaki kristallerin x-ışınları tarafından iyonize edilmesi ve gelen x-ışını miktarına bağlı olarak gizli görüntünün oluşturulması ilkesine dayanır. Gizli görüntü pozlama sonrasında film ışığa maruz kalmadığı sürece emülsiyon tabakası içinde saklanır. Filmin karanlık bir ortamda çeşitli kimyasallar ile işlenmesi (banyo işlemi) sonrasında gizli görüntü gözle görülebilir hale gelmektedir. Bu görüntü analog görüntü olarak adlandırılmaktadır.

Dijital görüntü, bilgisayarlar tarafından verilerin işlenebilmesi için analog görüntülerin 1 ve 0 rakamları ile ifade edilmesidir. Basit ifadeyle, bir kişiye gözümüz ile baktığımızda gördüğümüz analog bir görüntüdür, fakat aynı kişinin fotoğrafını çekip bir ekrandan baktığımızdaki görüntü dijital bir görüntüdür. Analog görüntüleri çok küçük kare parçalara böldüğümüzde beynimiz tarafından kesintisiz olarak algılanır. Dijital görüntüleri çok küçük kare parçalara böldüğümüzde piksel adı verilen en küçük görüntü elemanı elde edilir ve bu eleman 1 ve 0 değerlerinden oluşan bir değeri ifade etmektedir.

Dijital görüntülerin tanımlanması için çeşitli kavramlar kullanılmaktadır. Dijital bir görüntünün kaç pikselden oluştuğu, her bir pikselin fiziksel büyüklüğü ve her bir pikselin ne kadarlık bilgi taşıdığı o dijital görüntü hakkında bilgi almamızı sağlayan önemli faktörlerdir. Bu faktörler görüntü kalitesi açısından da önemli olduğu için dijital radyografide sıklıkla kullanılmaktadır. Bunların yanında dijital bir görüntünün temel uzaysal çözünürlüğü, kontrast hassasiyeti ve sinyal/gürültü oranı o görüntünün gösterebileceği detay büyüklüğünü etkilediğinden dijital radyografide ölçülen ve değerlendirilen parametrelerdir.

Bir resmin temel uzaysal çözünürlüğü (Basic Spatial Resolution), o görüntünün 1 pikselinin fiziksel büyüklüğüne eşittir. Bu değer genellikle mikrometre cinsinden veya milimetre başına tel çifti olarak tanımlanır. Belirli bir alan içinde ne kadar çok piksel varsa çözünürlük o kadar fazladır. Gri seviyesi yani piksel değeri ise bir pikselin taşıdığı bilgi miktarıdır ve bu değer ne kadar fazlaysa çözünürlük o kadar iyi olmaktadır. Sinyal/Gürültü oranı ise dijital görüntüdeki detayın çevresinden ayırt edilebilmesinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır.

### 3.0 Dijital Radyografide Görüntü Oluşumu

Radyografinin ilk uygulamaları Kalsiyum Tungstenat (CaWO<sub>4</sub>) içeren floroskopik ekranlarda yapılmış daha sonra film sistemlerine geçilmiştir. Görüntülerin anlık olarak incelenmesine olanak sağlayan bu yöntem radyoskopi – floroskopi olarak adlandırılmıştır. Tıp alanındaki görüntü kalitesi ihtiyaçlarından dolayı birçok teknoloji geliştirilmiş ve görüntü kalitesi floroskopik ekranlara oranla oldukça arttırılmıştır. Bu amaçla kullanılan cihazlara görüntü şiddetlendiriciler denilmektedir. Günümüzde bu cihazların yerine görüntüleme plakaları, düz panel (DDA) ve çizgisel (LDA) dedektörler kullanılmaktadır.

Daha önce film radyografisi ile elde edilmiş bir görüntünün tarayıcı cihazlar ile dijitalleştirilmesi mümkündür. Bu uygulamaya indirekt dijital görüntü oluşturma denir. Yarı direkt görüntü oluşturma ise görüntüleme plakalarının kullanılması ile yapılır. Bu uygulamada filme çok benzeyen yapıda esnek görüntüleme plakaları kullanılır. Bu plakalar yine pvc tabanlı bir tabaka üzerine uygulanmış baryum halid kristalleri içermektedir. X-ışınlarına maruz kaldıklarında tıpkı filmde olduğu gibi gizli görüntü oluşur. Daha sonra bu görüntüleme plakaları (dijital filmler) tarayıcı cihaza yerleştirilir ve lazer ile tarandıklarında gizli görüntüyü görünür ışık olarak geri verirler. Tarayıcı içinde bulunan bir foto-çoklayıcı tüp (PMT) vasıtası ile bu ışık toplanır ve ADC (analog-dijital dönüştürücü) vasıtası ile dijital bir veriye dönüştürülür. Bu dijital filmlerin avantajı tarandıktan sonra üzerindeki kalan bilginin silinebilmesi ve tekrar tekrar kullanılabilmesidir. Direkt görüntü oluşturma ise yarı iletken dedektörler ile yapılır. Görüntü CCD ve CMOS/APS sensörleri vasıtası ile dijital veriye dönüştürülür. Bu uygulama için x-ışınlarını görünür ışığa dönüştüren sintilatörler kullanıldığında dolaylı dönüşüm, fotoiletken malzemeler kullanıldığında ise doğrudan dönüşüm teknikleri kullanılabilir.

X-ışınlarını dijital bir veriye dönüştüren bu teknolojilerin yapıları ve çalışma prensiplerine bağlı olarak avantajlar ve kısıtlamalar mevcuttur. Dolayısı ile yapılacak radyografik muayene sonucunda elde edilmek istenen görüntü kalitesi veya tespit edilmesi hedeflenen en küçük süreksizlik boyutuna bağlı olarak uygun ekipman ve ayar seçimi film radyografisine oranla daha önemli hale gelmektedir. Bu nedenle dijital radyografi uygulamaları için farklı imalat sektörlerinde kullanılmak üzere çeşitli standartlar hazırlanmıştır. Kaynakların dijital radyografik muayenesi için EN ISO 17636-2 standardı esas alınmaktadır.

### 4.0 EN ISO 17636-2:2021 Standardı

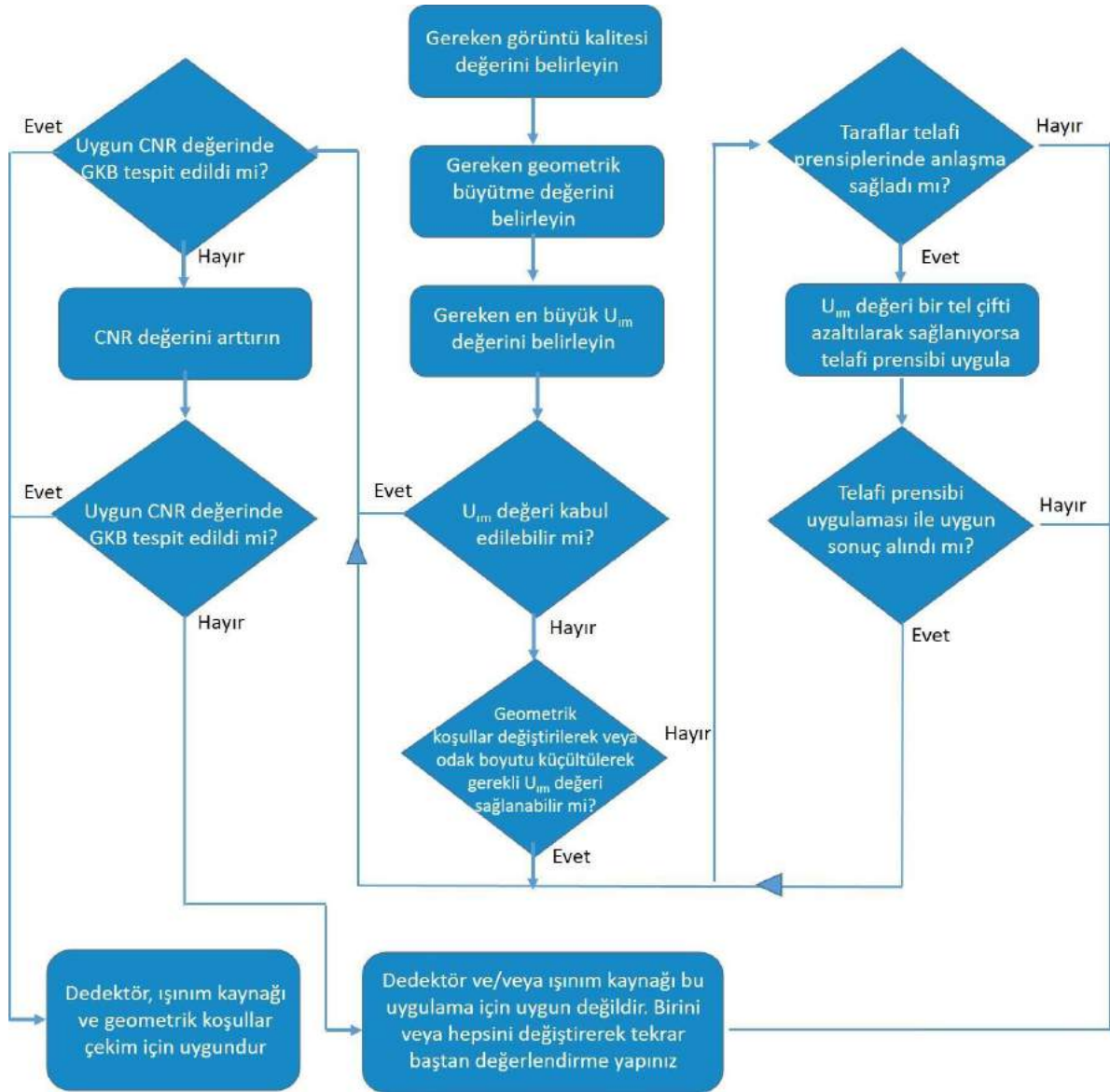
Bu standart, tatmin edici ve tekrarlanabilir sonuçlar elde etmek amacıyla metal plaka ve borulardaki kaynaklı bağlantıların bilgisayarlı radyografi (CR) veya dijital dedektör dizileri (DDA'lar) ile radyografi yoluyla dijital radyografik X ve gama-ışını testi için uygulanacak teknikleri ve gereklilikleri belirtmektedir.

Bu standardın uygulanabilmesi için öncelikli olarak taraflar arasında standardın belirttiği konularda anlaşma sağlanmış olması gereklidir. Test sınıfının belirlenmesi, uygulanacak dijital radyografi tekniği ve uygulama ile ilgili birçok konu muayene öncesinde karara bağlanmalı ve bir uygulama talimatı hazırlanmalıdır.



Hazırlanan talimata göre yapılacak çekimlerin sonucunda elde edilen dijital görüntülerin değerlendirilebilmesi için gereken şartlar standardın Tablo 3 ve 4 ile Ek B kısımlarında belirtilmektedir.

İlk olarak talimatta belirtilen dedektörün uygunluğu tespit edilmelidir. Örneğin uygulama için DDA kullanılacak ise bu değerlendirme ASTM E 2698 standardına göre yapılabilir. Bir akış şeması kullanılarak elde edilmek istenen değere ulaşamadığı durumlarda yapılması gerekenler tariflenmiştir. Test edilmek istenen kalınlığa bağlı olarak bir dedektörün sağlanması gereken değerler standardda Tablo 2’de belirtilmiştir.



**Şekil 1:** Geometri, Toplam Görüntü Keskinliği (Yarı Gölge) ve Görüntü Kalitesi için Akış Şeması (ASTM E 2698)

Tablo 3 ve 4 farklı malzeme ve nüfuz edilen kalınlıklar için uygulanan enerji seviyesine göre sağlanması gereken minimum normalize sinyal gürültü oranını tanımlamaktadır.

Radyasyon Kaynağı	Nüfuziyet Kalınlığı, w mm	Minimum SNR <sub>N</sub> <sup>c</sup>		Metal ekranların tip ve kalınlığı mm
		Sınıf A	Sınıf B	
X-ışını gerilimleri ≤ 50kV		100	150	Yok
X-ışını gerilimleri <sup>d</sup> >50kV ila 150 kV		70	120	0' dan 0,1'e kadar (Pb)
X-ışını gerilimleri <sup>d</sup> >150kV ila 250 kV		70	100	0' dan 0,1'e kadar (Pb)
X-ışını gerilimleri <sup>d</sup> >250kV ila 350 kV	≤ 50	70	100	0' dan 0,3'e kadar (Pb)
	> 50	70	70	0' dan 0,3'e kadar (Pb)
X-ışını gerilimleri <sup>d</sup> >350kV ila 1000 kV	≤ 50	70	100	0' dan 0,3'e kadar (Pb)
	> 50	70	70	0' dan 0,3'e kadar (Pb)
Yb 169 <sup>d</sup>	≤ 5	70	120	0' dan 0,1'e kadar (Pb)
	> 5	70	100	0' dan 0,1'e kadar (Pb)
Ir 192 <sup>d</sup> , Se 75 <sup>d</sup>	≤ 50	70	100	0' dan 0,3'e kadar (Pb)
	> 50	70	70	0,1' den 0,4'e kadar (Pb)
Co 60 <sup>a,b</sup> X-ray gerilimleri <sup>a,b</sup> > 1 to 5 MV	≤ 100	70	100	0,3'den 0,8'e (Fe or Cu) + 0,6'den 2'ye (Pb)
	> 100	70	70	0,3'den 0,8'e (Fe or Cu) + 0,6'den 2'ye (Pb)
X-ray gerilimleri <sup>a,b</sup> >5 MV	≤ 100	70	100	0,6'dan 4'e (Fe,Cu veya Pb)
	> 100	70	70	0,6'dan 4'e (Fe,Cu veya Pb)

<sup>a</sup> Birden fazla ekran (Fe + Pb) durumunda, çelik ekran IP ve Pb ekran arasına yerleştirilmelidir.  
<sup>b</sup> Fe veya Fe + Pb yerine, görüntü kalitesi kanıtlanabilirse bakır, tantal veya tungsten ekranlar da kullanılabilir.  
<sup>c</sup> SNR<sub>N</sub>, IEB/ana metalde ölçülürse, kaynak kepi ve kökü ana malzeme ile aynı kalınlıkta olması haricinde, bu değerler 1,4 ile çarpılmalıdır.  
<sup>d</sup> Pb ekranlar tamamen veya kısmen Fe veya Cu ekranlarla değiştirilebilir. Fe veya Cu için eşdeğer kalınlık Pb kalınlığının 3 katıdır.

**Şekil 2:** EN ISO 17636-2 Tablo 3; Çelik, bakır ve nikel esaslı alaşımların radyografisi için minimum SNRN değerleri (CR ve DDA) ve metal ön ekranlar (yalnızca CR ekranları)

Standardın Ek-B kısmında ise yine görüntünün sağlanması gereken diğer önemli şart olan görüntü kalite belirteçleri ile ilgili isterler belirtilmiştir. Film radyografisinden farklı olarak dijital görüntülerde sadece telli veya kademeli görüntü kalite belirteçlerinin kullanılması yeterli değildir. Çift telli görüntü kalite belirteci kullanılarak görüntünün BSR ve SR<sub>b</sub> değerinin belirlenmesi gereklidir. Çift telli penetremetre ile görüntünün ve dedektörün yarı gölge değerleri tespit edilebilmektedir.

Dijital bir görüntünün değerlendirilmesi için ile ilgili standardın belirttiği parametrelerin sağlanmış olması gereklidir. Bu parametreler, özel yazılımlar ile ölçülmektedir. Sinyal gürültü oranının ölçülmesi standardın Ek-D bölümünde açıklanmıştır. ASTM E2022 ve ISO 16371 standartlarına göre yapılan bu ölçümlerde dijital bir görüntü üzerinde 20 x 55 piksellik bir alan seçilmekte ve alan içinde yer alan 1100 pikselin gri seviyesi değeri kullanılarak sinyal gürültü oranı hesaplanmaktadır. Standardın belirttiği normalize sinyal gürültü oranı ise aşağıdaki formüle göre elde edilen bu değer sabit bir katsayı ve o görüntünün SR<sub>b</sub> değerine bölünmesi ile bulunmaktadır.

$$SNR_N = SNR \times \frac{88.6}{SR_b^{dedektör}}$$

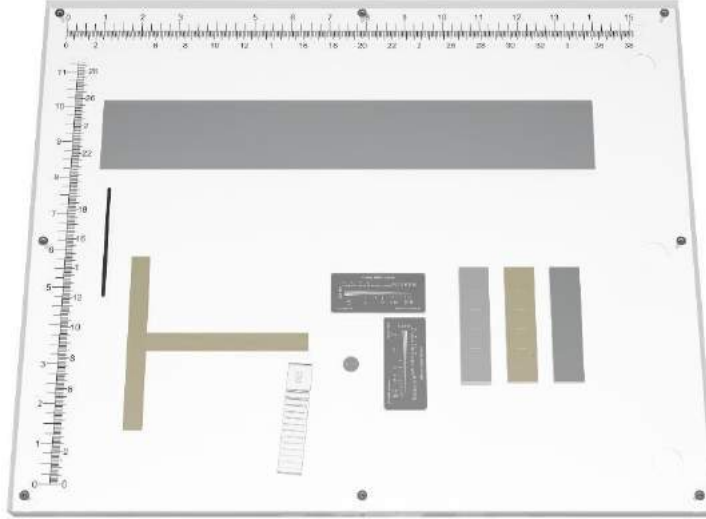
Bu hesaplama sonucunda elde edilen sonuç Şekil-3'te verilen tablodaki değerleri sağlıyor ise planlanan geometri, enerji, mA, mesafe ve dedektör ile çekim yapılması uygundur. Aksi durumda telafi prensipleri uygulanmalıdır. Örneğin standartta belirtilen telafi prensibi 2'nin uygulanmasında 15 mm et kalınlığına nüfuz edilen bir durumda dedektörün sağlaması gereken maksimum yarı gölge değeri 0.26 mm olmalıdır. Eğer çift telli penetremetre ile yapılan ölçümlerde bu değer 0.40 mm olarak bulunduysa telli penetremetrede kayıp olan iki tel seviyesi telafi edilebiliyorsa görüntü bu şartı sağlamış kabul edilir. Standardın 2022 yılı baskısında telafi prensibi 2 ile maksimum 3 tel çiftinin telafi edilebileceği belirtilmiştir.

<b>Sınıf A : Çift telli GKB, ISO 19232-5</b>		
<b>Nüfuz edilen kalınlık</b> $w^a$ mm	<b>Minimum GKB değeri ve maksimum yarı gölge</b> (ISO 19323-5) <sup>b,c</sup> mm	<b>Maksimum temel uzamsal çözünürlük (tel kalınlığına ve tel aralığına denk)<sup>b,c</sup></b> ( $SR_b^{dedektör}$ ) mm
$w \leq 1$	D 13 0,10	0,05
$1 < w \leq 1,5$	D 12 0,125	0,063
$1,5 < w \leq 2$	D 11 0,16	0,08
$2 < w \leq 5$	D 10 0,20	0,10
$5 < w \leq 10$	D 9 0,26	0,13
$10 < w \leq 25$	D 8 0,32	0,16
$25 < w \leq 55$	D 7 0,40	0,20
$55 < w \leq 150$	D 6 0,50	0,25
$150 < w \leq 250$	D 5 0,64	0,32
$w > 250$	D 4 0,80	0,40

<sup>a</sup> Çift duvar tek görüntü tekniği için nüfuz edilen kalınlık  $w$  yerine anma kalınlığı ( $t$ ) kullanılır.  
<sup>b</sup> Detektör sistemi seçiminde (bkz Ek C), GKN okuması temas radyografisi için geçerlidir. Geometrik büyütme tekniği kullanılırsa (Bölüm 7.7), GKN okuması ilgili referans radyografilerde yapılmalıdır.  
<sup>c</sup> Büyütme,  $v$ ,  $> 1,2$  ise,  $SR_b^{detektör}$  yerine  $SR_b^{görüntü}$  kullanılacaktır.

**Şekil 3:** EN ISO 17636-2 standardı Tablo B.13 – Tüm teknikler için maksimum yarı gölge, Sınıf A

DDA ve CR sistemleri ile ilgili diğer önemli bir uygulama ise bu detektörlerin uzun dönem kararlılık testlerinin uygun bir şekilde yapılmasıdır. Bu amaçla, DDA sistemleri için ASTM E2737 ve CR sistemleri için ASTM E2445, EN 14784-1 ve ISO 16371-1 standartları hazırlanmıştır. Bu standartlar, dedektörlerin uzun süreli kullanımı nedeniyle elektronik elemanlarında veya mekanik aksamalarında oluşabilecek sapmaların tespit edilmesi ve görüntü kalitesine etkisinin ortadan kaldırılması amacı ile kullanılmaktadır. CR sistemlerinin sınıflandırılması ve uzun dönem kararlılık testleri içinde çeşitli ölçüm sistemleri olan ve fantom adı verilen pleksi malzeme içine gömülmüş bir aparat ile yapılır.



**Şekil 4:** CR sistemlerinin sınıflandırılması ve uzun dönem kararlılık testleri için fantom

Bu aparatın dijital film üzerinde görüntülenmesi ile görüntü kalitesini etkileyecek birçok parametre ölçümü yapılır. Ölçüm sonuçları belirlenen sınırlar içinde ise sisteme onay verilir. Aynı uygulama DDA sistemlerinde farklı bloklar ve ölçüm parametreleri kullanılarak yapılmaktadır.

## 5.0 Sonuç

Dijital radyografi günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Görüntünün anında elde edilmesi ve dijital teknolojinin getirdiği avantajlar sayesinde kullanımı kolaydır. Fakat, doğru parametreler kullanılmaz ise yanlış değerlendirme riski yüksektir. Bu nedenle standartların belirttiği konular çok iyi anlaşılmalıdır. EN ISO 9712 standardının 2021 yılı revizyonunda, radyografik muayene film radyografisi, dijital radyografi ve tomografi gibi alt dallara ayrılmış ve eğitim ve tecrübe süreleri ayrı ayrı açıklanmıştır. Ayrıca, personelin vasıflandırma işleminde film radyografisinden dijital radyografiye geçiş için gereken ilave eğitim süreleri de belirtilmiştir. Dijital radyografi ile çalışacak tahribatsız muayene personelinin mutlaka dijital radyografi konusunda eğitim alması ve tecrübeye sahip olması gereklidir. Bu şartlar sağlanmadığında, dijital radyografi teknolojisinin hatalı sonuçlara yol açma riski vardır.

## REFERANSLAR

- 1) EN ISO 17636-2: Kaynak dikişlerinin tahribatsız muayenesi - Radyografik muayene - Bölüm 2: Dijital dedektörler ile X ve gama ışını teknikleri
- 2) ASTM E 2698: Dijital dedektör dizileri kullanılarak yapılan radyografik incelemeler için standart uygulama
- 3) ISO 16371-1: Tahribatsız muayene - Görüntüleme plakaları ile endüstriyel bilgisayarlı radyografi - Bölüm 1: Sistemlerin sınıflandırılması

## **İşletme Aşaması Kontrollerde Tahribatsız Muayene Uygulamaları ve Personelin Önemi**

Burak BAYRAKTAROĞLU<sup>1</sup>, Makina Müh.(M.Sc.) ve Kaynak Müh.  
UT, RT, MT, PT, VT Seviye III

Dr. Ersan GÖNÜL<sup>2</sup>, Makine Müh.(Ph.D. M.Sc.) ve Kaynak Müh.  
UT, RT, MT, PT, VT Seviye III

<sup>1</sup>*TMMOB Makina Mühendisleri Odası Kaynak Eğitim ve Muayene Merkezi*  
*e-posta: [burak.bayraktaroglu@mmo.org.tr](mailto:burak.bayraktaroglu@mmo.org.tr)*

<sup>2</sup>*TMMOB Makina Mühendisleri Odası Kaynak Eğitim ve Muayene Merkezi*  
*e-posta: [ersan.gonul@mmo.org.tr](mailto:ersan.gonul@mmo.org.tr)*

Tahribatsız muayene birçok sektörde kullanılan önemli bir kontrol adımıdır. Özellikle imalattan önce yapılan çalışmalarda ve imalat sonrası kontrollerde yoğun şekilde kullanılmaktadır. Tahribatsız muayenede en önemli aşama, beklenen hataların doğru tahmin edilmesi ve bu kapsamda kontrol metotlarının seçilmesidir. Özellikle işletme aşaması kontrollerde bu durum büyük önem kazanmaktadır. Bu bilgilerin standartlarda olabileceği gibi standartlarda olmaması durumunda personel tecrübesi önem kazanmaktadır. Bu aşamada personel, kullanılan ekipmanın teknik yapısını, kontrol standardını, uygulanabilecek metotları ve bu metotların etkinliğini iyi değerlendirmelidir. İhtiyaç olması durumunda ek kontrolleri talep etmelidir. Bu bildiride işletme aşamasında olan ekipmanların kontrollerinde personelin önemi, uygulanabilecek tahribatsız muayene metotları ve bu metotların etkinliği hakkında bilgi verilecektir. Ayrıca yapılan kontrollerde elde edilen veriler paylaşılacak, ek kontrollerin sonuçları tartışılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** *Tahribatsız Muayene, NDT Personeli, İşletme Aşaması Kontrolleri*

## 1. GİRİŞ

Metalik konstrüksiyonlar yaşamın her alanında kullanılmaktadır. Yük ve insan taşımacılığı için kullanılan ekipmanlar, buhar kazanları, hava tankları, yük istifleme sistemleri, köprü konstrüksiyonları gibi kaynaklı imalat yöntemiyle üretilen farklı amaçlarla tasarlanmış metalik konstrüksiyonlar bulunmaktadır. Metalik konstrüksiyonlar uzun yıllar kullanılmakta, değişen üretim planları neticesince yerleri değiştirilmekte, ekipmanlarda tadilat ve değişiklik yapılmaktadır.

Metalik konstrüksiyonların ömürleri sonsuz değildir. Tekrarlı yüklemelere maruz kalan metalik konstrüksiyonlar yorulmaya maruz kalmaktadır. Yorulma sonucu malzemede oluşan süreksizliğe “yorulma çatlakları” adı verilmektedir. Yorulma çatlakları genellikle maksimum gerilmelerin oluştuğu bölgelerde meydana gelmektedir. Zamanla ilerleyen yorulma çatlakları bulunduğu bölgede çatlaksız kısım üzerindeki gerilmeyi arttırmakta, bu durum ani kırılmaya sonuçlanmaktadır.

Metalik konstrüksiyonlara etkiyen kuvvetler yorulma çatlakları oluşumu üzerinde etkilidir. Araç şasileri, tır dorseleri gibi ekipmanlara gelen değişken dinamik kuvvetler, taşıdığı yükün oluşturduğu atalet kuvvetleriyle birlikte farklı bölgelerde değişken gerilmeler oluşturmaktadır.

Metalik konstrüksiyonlar için bir diğer risk korozyondur. Kimyasallar, ortam gibi faktörlere bağlı olarak korozyona uğrayan metalik malzemelerin dayanımları düşmektedir. Basınçlı ekipmanlarda meydana gelen cidar azalması (et kalınlığındaki düşüş) kritik seviyeye ulaşması halinde, bu ekipmanların kullanım dışına alınması gerekmektedir.

Yüksek ısı ekipmanların ömrünü etkileyen bir diğer faktördür. Buhar kazanı gibi yüksek sıcaklık ve basınçta çalışan ekipmanlarda malzeme iç yapısındaki değişim, sertlik değerlerindeki değişim ve ortaya çıkması muhtemel çatlaklar irdelenmelidir. Direk aleve maruz kalan yüzeyler iç yapılarıdaki değişim ayrıca incelenmelidir.

Bu çalışmada kaynaklı imalat yöntemiyle üretilen metalik konstrüksiyonların işletme aşaması kontrolleri irdelenecektir. Isı, gerilim etkisiyle oluşan çatlakların tespiti için uygulanacak tahribatsız muayene yöntemlerinden seçimi, muayeneyi yapan personel vasfı ve bulunan süreksizliklerin değerlendirme kriterinden bahsedilecektir.

## 2. İŞLETME AŞAMASINDA KULLANILAN TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİ VE SEÇİMİ

Tahribatsız muayene, kalite kontrolün en önemli bölümü olup, üretimin tamamlayıcı son kısmıdır. Tahribatsız muayene, incelenen malzemeye zarar vermeden muayene edilerek, dinamik ve statik yapıları hakkında bilgi edinilen muayene yöntemlerinin tümüne verilen addır. Tahribatsız muayene yöntemi ile malzemeler imalat esnasında veya belli bir süre kullandıktan sonra örneğin, korozyon veya aşınma gibi nedenlerden dolayı oluşan çatlak, iç yapıda meydana gelen boşluk, kesit azalması vb. hataların tespiti gerçekleştirilir. Bu işlemlerde, malzemelerden numune almaya gerek yoktur. Testler doğrudan iş parçası üzerinde yapılır. Kullanıma uygun olmayan veya kullanıma uygunluğunu yitirmiş olan parçalar çoğunlukla kullanımdan kaldırılır.

Tahribatsız muayene yöntemleri çeşitli fiziksel prensiplerle, farklı şekillerde uygulanır. Seçilecek yöntem, incelenen malzemenin cinsine ve aranan hata türüne göre belirlenir. Her bir yöntemin diğerine göre üstün tarafları olup, genellikle birbirlerinin tamamlayıcısı durumundadırlar.



## 2.1. İşletme Aşamasında Kullanılan Tahribatsız Muayene Yöntemleri

İşletme sırasında uygulanan tahribatsız muayene yöntemleri şunlardır:

- Görsel Muayene (VT)
- Manyetik Muayene (MT)
- Penetrant Muayene (PT)

**Tablo 1 – Yöntem, belirti tipi ve ölçülen boyutlar**

NDT Yöntemi	Belirti Tipi	Ölçülen Boyutlar
<b>Görsel Muayene</b>	Tespit edilebilen tüm belirtiler ayrı ayrı isimlendirilir Çatlak, yanma oluşu, aşırı kaynak metali v.b. Bknz. EN 6520-1	Her belirti türü ayrı ölçüm alınarak ayrı kritere göre değerlendirme yapılır. Bknz. EN 5817
<b>Penetrant Muayene</b>	Lineer ve Non-lineer belirti Bknz. EN 23277	Yüzeyde oluşan penetrant izi ölçülür.
<b>Manyetik Parçacıkla Muayene</b>	Lineer ve Non-lineer belirti Bknz. EN 23278	Yüzeyde toplanan demir tozlarının oluşturduğu iz ölçülür.

### 2.1.1 Görsel Muayene

Çıplak gözle yapılan muayenedir. Bir ürünün yüzeyindeki süreksizlikler, yapısal bozukluklar, yüzey durumu gibi kaliteyi etkileyen parametrelerin optik bir yardımcı (büyüteç gibi) kullanarak veya kullanmaksızın muayene edilmesidir.

Görsel muayene çok basit bir metot olarak görünse de kendine özgü incelikleri vardır. Genellikle bir başka tahribatsız muayene metodunun uygulanmasından önce yapılması gereken bir çalışmadır. Zaten diğer tahribatsız muayene yöntemleri için hazırlanmış uygulama standartlarının çoğunda da öncelikle gözle muayene yapılması ve bulguların kaydedilmesi istenir.

Çıplak gözle yapılan muayenedir. Bir ürünün yüzeyindeki süreksizlikler, yapısal bozukluklar, yüzey durumu gibi kaliteyi etkileyen parametrelerin optik bir yardımcı (büyüteç gibi) kullanarak veya kullanmaksızın muayene edilmesidir.

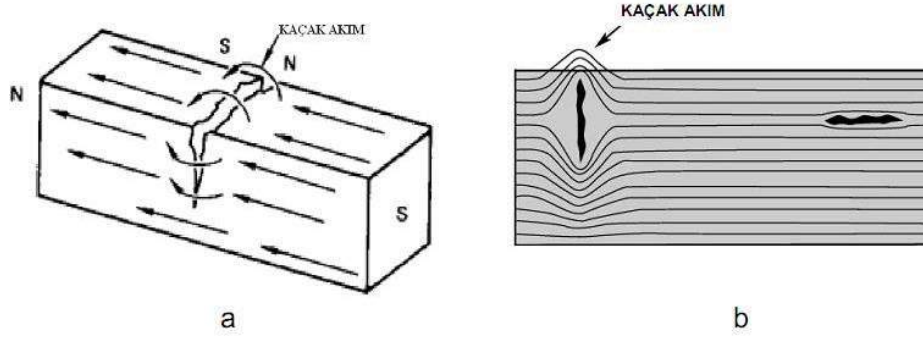
### 2.1.2 Penetrant Muayenesi

Yüzey hatalarının tespiti için kullanılan bir muayene metodu olup, Tespit edilmek istenilen hataların muayene işlemi uygulanan yüzeyine açık olması gerekir, bu nedenle yüzey altında kalan veya herhangi bir nedenle yüzeyle bağlantısı kesilmiş bulunan hatalar bu metotla tespit edilemez. Metalik veya metalik olmayan bütün malzemelerde aşırı gözenekli olmamaları koşulu ile beklenen yüzey hatalarının tespiti için kullanılabilir.

Muayene yüzeyine açık süreksizlikler içine kapiler etki ile nüfuz etmiş olan penetrant sıvısı geliştirici tarafından tekrar yüzeye çekilerek süreksizlik belirtileri elde edilir. Süreksizlikler çatlak türü ise lineer belirtiler, gözenek türü ise yuvarlak belirtiler elde edilir.

### 2.1.3 Manyetik Parçacıkla Muayene

Manyetik parçacık yöntemi yüzey ve yüzeye yakın hataların tespitinde ve yerlerinin belirlenmesi işleminde kullanılan oldukça basit, hızlı ve düşük maliyetli bir tahribatsız muayene metodudur. Bu yöntemde yüzey hatalarının belirlenebilmesi hatanın boyutuna ve yüzeye yakınlığına bağlı olup sadece ferromanyetik yani mıknatıslanabilen malzemelere uygulanır. Yöntem, incelenen malzemenin manyetikleştirilmesi esasına dayanmaktadır. Manyetikleştirme işlemi, parçadan elektrik akımı veya doğrudan manyetik akı geçirilerek gerçekleştirilir. Ferromanyetik malzemeler bu manyetik akıya hiç bir direnç göstermezler aksine bu manyetik akının geçmesine katkıda bulunurlar. Eğer manyetik alan içerisinde süreksizlik varsa, süreklilikteki boşluk alan çizgilerini engelleyecek ve sapacaktır. Bu durum hata üzerinde yoğun bir kaçak akım oluşturur.



Şekil 1 – Manyetik muayene

### 2.1. İşletme Aşamasında Kullanılan Tahribatsız Muayene Yöntem Seçimi

Kaynaklı imalatlarda kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri seçimiyle ilgili kriterler EN 17635 standardında şu şekilde tanımlanmıştır:

- Kullanılan kaynak prosesi
- Ana metal, kaynak sarf malzemesi ve işleme metodu,
- Birleştirme tipi ve geometrisi;
- Bileşen konfigürasyonu (ulaşılabilirlik, yüzey durumu v.b.)
- Kalite seviyeleri
- Beklenen süreksizlik tipi ve yönelimi.

EN 17635 standardı Tablo 2'de köşe kaynaklarını içerecek şekilde tüm kaynak tiplerinde yüzey süreksizliklerinin tespiti için malzemeye göre kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri tanımlanmıştır. Ferritik çelikler ve diğer malzemelerin (östenitik çelik, alüminyum ve nikel, bakır ve titanyum) ayrı

satırlarda yazılmasının nedeni manyetik parçacıkla muayenedir. Manyetik parçacıkla muayene sadece “ferromanyetik” malzemelerde uygulanabilir.

Malzemeler	Muayene Metodları
Ferritik çelik	VT VT and MT VT and PT VT and (ET)
Östenitik çelik Alüminyum ve nikel Bakır ve titanyum	VT VT and PT VT and (ET)
NOT Parantez içindeki metotlar limitler dahilinde kullanılabilir.	

Şekil 2 – Yüzeysel metotların seçimi

### 3. SAHA ÖRNEKLERİ

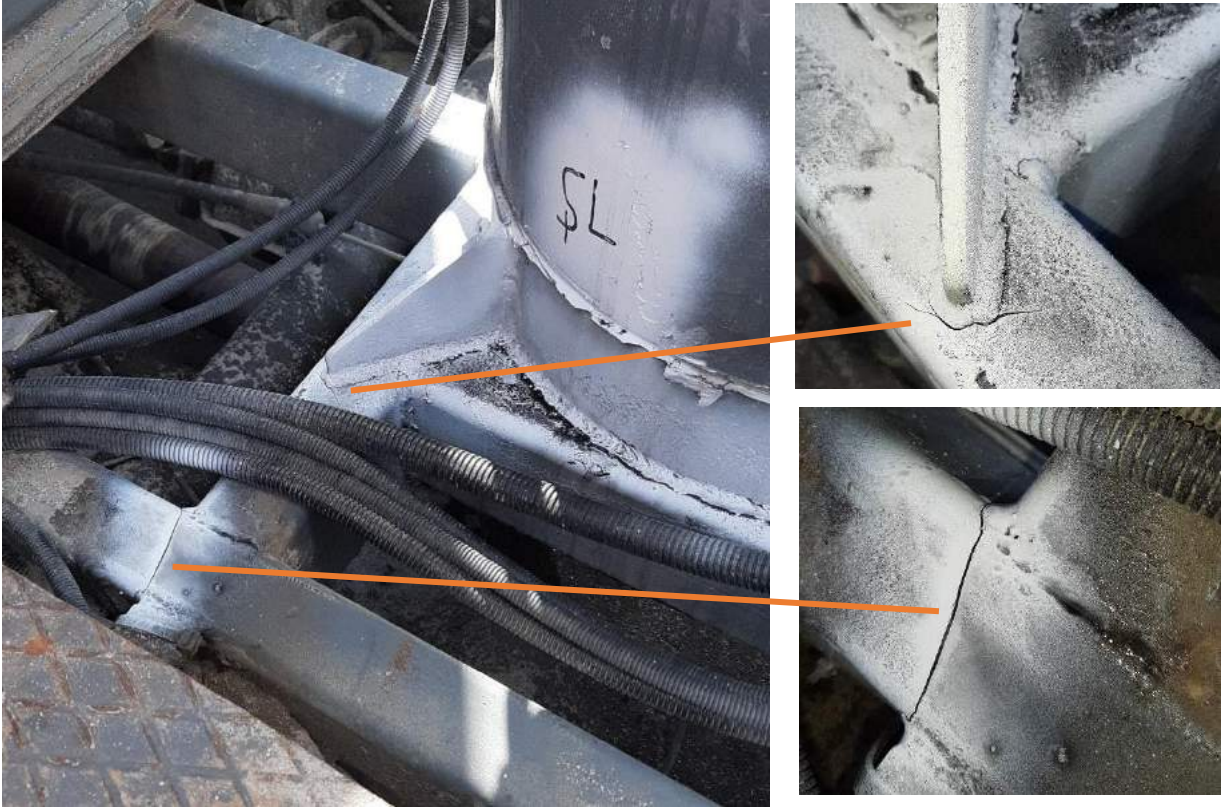
#### 3.1. Sepetli Platform

Sepetli platform, çeşitli sektörlerde yüksek alanlara ulaşımı hızlandıran bir platform çeşididir. Sepetli platformların tercih edilmesinin en önemli nedeni, güvenli ve verimli bir çalışma ortamı sunmasıdır. Araç üstü sepetli platformlar bakım onarım işlemleri başta olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır.

Ülkemizde de yaygın olarak kullanılan sepetli platformlar ağır şartlarda çalışmakta, malzeme çekmek kaldırmak gibi farklı amaçlarla uygun olmayan şekilde kullanılmaktadır. Bu durum, imalat öncesi dayanım hesaplarında öngörülme gerilmeler oluşturmakta ve bu gerilmeler sonucunda malzemede yorulma çatlakları oluşmaktadır.

Sepetli platform kazaları genellikle sepeti taşıyan metal konstrüksiyonun kırılması neticesinde sepet düşmesi şeklinde olmakla birlikte, ayakların kırılması sonucu araç devrilmeleri, hidrolik piston bağlantılarının kopması veya ana konstrüksiyonun kırılmasına bağlı oluşan kazalar da bulunmaktadır.

Sepetli platformda kırılma bölgelerinin önceden öngörülmesi ve çatlakların konstrüksiyon kırılmadan tespit edilebilmesi mümkündür. Gerilme yoğun bölgelerde bulunan malzeme ve tüm kaynak dikişleri ITAB bölgesini içerecek şekilde kontrol edilmelidir. Manyetik parçacıkla muayene metodu kullanılarak yapılan kontrollerde, yorulma çatlakları lineer belirti olarak dikkate alınmakta ve değerlendirilmektedir.



Şekil 3 – Sepetli platform kontrol sonuçları

Yapılan kontrol sonucunda bulunan yorulma çatlaklı ekipmanların kullanımdan çekilmesi neticesinde çok sayıda kazanın önüne geçilmiştir.

### 3.2. Minibüs Şasi Kontrolleri

Tüm metalik konstrüksiyonlar gibi, araç şasileri de yorulma etkilerine açık yapılardır. Motorlu taşıtlar hareket halindeyken ivmelenme ve frenleme durumlarında gerilmelere maruz kalmakta; ayrıca yol durumuna bağlı olarak tekerleklerden aktarılan dinamik yükleri karşılamaktadır. Farklı kaynak yöntemleriyle ince sacların birleştirilmesi yoluyla imal edilen şasi konstrüksiyonları zaman içinde çatlak oluşumuyla birlikte tehlike arz etmektedir.

Trafikte seyreden araçların metal konstrüksiyonlarının yapısal bütünlüğü önemlidir. Ayrıca; olası bir kaza durumunda şasinin parçalanmadan bir arada kalması yolcu güvenliği açısından önemlidir.



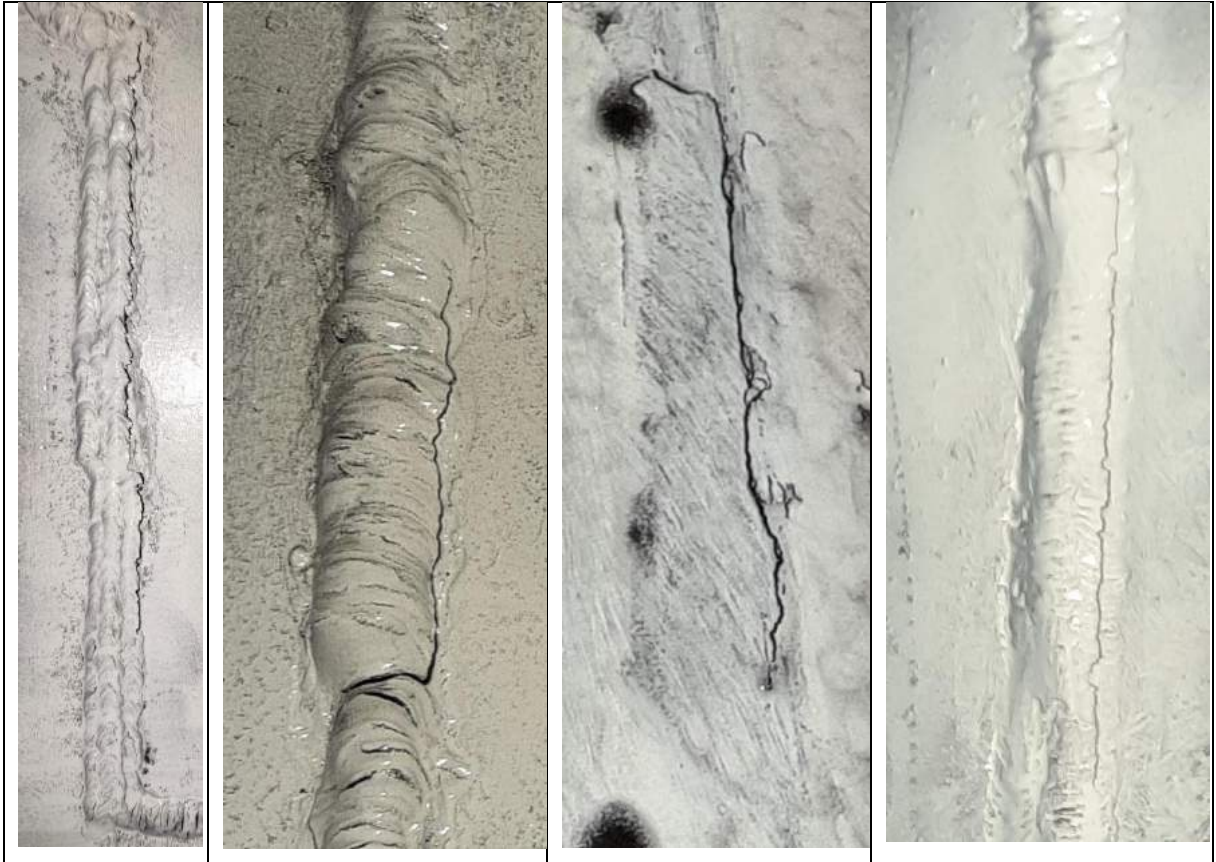
**Tablo 2 – Araç şasi kontrol sonuçları**

		
Ana şasi kolunda çatlak	Bağlantı noktasında çatlak	Direnç nokta kaynaklarında çatlak

Yapılan kontrollerde farklı marka ve modellerde, insan taşımada kullanılan toplam 26 adet araç kontrol edilmiştir. 9 – 10 yaş aralığındaki bu araçların %54’ünde yorulmaya bağlı çatlak oluşumu tespit edilmiştir. Kontrol edilen araçların tamamında kaynaklı imalat sırasında oluşan bir süreksizlik olan “krater çatlağı” tespit edilmiştir.

### 3.3. Vinç Yürüme Yolları

**Tablo 3 – Vinç yürüme yolları kontrol sonuçları**



Köprülü vinçlerin üzerinde hareket ettiği konstrüksiyonlara vinç yürüme yolu adı verilmektedir. Vinç yürüme yolları vinci, vinci kaldırdığı ağırlığı taşımakla birlikte, yük salınımı ve frenleme sırasında atalet kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Yıllar içinde tekrarlı yüklere maruz kalan vinç yürüme yolları konstrüksiyonlarında yorulma çatlakları oluşmaktadır.

Tespit edilemeyen yorulma çatlakları malzeme ve kaynak dikişlerinde ilerleyerek, çatlaksız kısımda yüksek gerilmelerin oluşmasına neden olur. Çatlaksız malzemede oluşan gerilme, malzemenin akma sınırını geçtiğinde malzeme aniden kırılır. Vinç konstrüksiyonunun yüklerle birlikte aşağı düşmesi ile sonuçlanan kırılmalar, iş güvenliği konusunda ciddi riskler oluşturmaktadır.

Tablo 3’de vinç yürüme yolları üzerinde manyetik parçacıkla muayene yöntemiyle tespit edilen, yorulma sonucu oluşmuş lineer süreksizliklere örnekler verilmiştir.

### 3.4. Tır Dorseleri

Metalik malzemelerden üretilen tır dorseleri yorulma etkilerine açık konstrüksiyonlardır. Ağır yük etkisine maruz kalan dorse, aynı zamanda yoldan aktarılan dinamik yükleri de taşımaktadır. Taşınan yük miktarının artırılması için, dorseler daha mukavemetli ve ince malzemelerden üretilmekte; bu hem imalat hem de kullanım sırasında çatlak oluşum riskini arttırmaktadır.

**Tablo 4 – Tır dorseleri kontrol sonuçları**



Ayrıca, park halinde dorseyi dengede tutan tır dorse ayakları da yorulma çatlaklarına karşı kontrol edilmelidir.

### 3.5. Forklift Gövdeleri

Yük kaldırmak, iletmek ve yerleştirmek için kullanılan forkliftlerin yüke maruz kalan kısımlarında yorulma etkileri görülmektedir. Piston bağlantı noktaları gibi yüke maruz kalan kısımlar kontrol edilmelidir. Yükün düşmesi, devrilmesi ile sonuçlanabilecek kazalar, yorulma çatlaklarının tespitiyle önlenabilmektedir.



**Tablo 5– Forklift gövdeleri kontrol sonuçları**



#### **4. DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ**

İşletme aşamasında tespit edilen süreksizlikler imalat kaynaklı süreksizlikler ve kullanım esnasında oluşan süreksizlikler olarak ikiye ayrılabilir. Kaynaklı imalatlarda tespit edilen gözenek, yanma oluğu, uç krater oluğu gibi imalat sırasında oluşmuş süreksizlikler işletme aşaması kontrollerinde de tespit edilmektedir. Yapılan kontroller sonucu değerlendirme konusunda karşılaşılan zorluklar şu şekildedir:

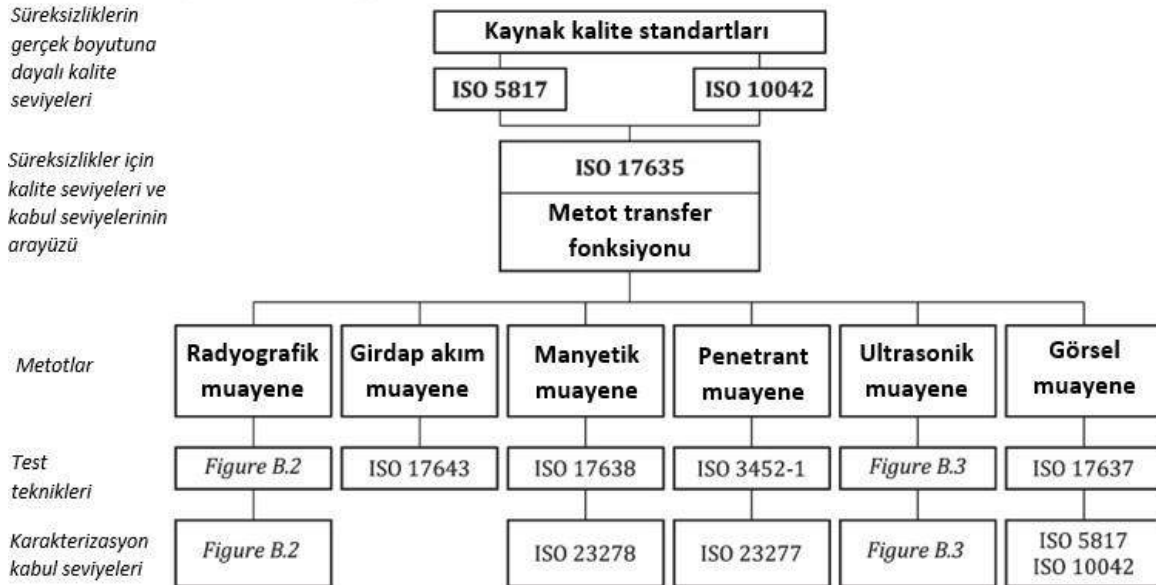
- Uzun yıllar işletmede kullanılan ekipmanlar üzerinde tespit edilen imalat kaynaklı süreksizlikler, değerlendirme konusunda zorluk yaratmaktadır.
- İşletmelerde kullanılan birçok ekipman için değerlendirme standardı ve kabul seviyesi bulunmamakta veya ekipmanı kullanan firma tarafından verilememektedir.
- Kaynak bölgelerinin dışında kalan, ana malzeme üzerinde de çatlaklar tespit edilmektedir. Bu süreksizliklerin değerlendirilmesi için değerlendirme kriterine ihtiyaç vardır.

İşletme aşaması kontrollerde tahribatsız muayene yöntemleri kullanılarak tespit edilen süreksizliklerin değerlendirilmesi konusunda kaynaklı imalat değerlendirme standartları kullanılır. ISO 5817 “Kaynak - Çelik, nikel, titanyum ve bunların alaşımlarında ergitme kaynaklı (demet kaynağı hariç) birleştirmeler - Kusurlar için kalite seviyeleri” standardı bulunan süreksizliklerin değerlendirilmesi konusunda ana doküman olarak kullanılmaktadır.

ISO 5817 standardı kaynaklı imalatların kalite seviyesine göre değerlendirilmesi için temel standart olmakla birlikte, EN 17635 standardı vasıtasıyla diğer tahribatsız muayene yöntemlerinin değerlendirme standartlarıyla bağlantılıdır. ISO 5817 standardı ile kaynaklı imalatlar için manyetik parçacıkla muayene ve penetrant muayene değerlendirme standartları arasındaki ilişki incelendiğinde kalite seviyelerinde “X” sembolünün olduğu görülmektedir. Boyu eninin üç katından büyük olan süreksizlikler “lineer belirti” olarak isimlendirilmektedir. İlgili değerlendirme tabloları incelendiğinde yorulmaya bağlı oluşan çatlaklar lineer belirti oluşturmakta ve “X” sembolü nedeniyle en sıkı kalite seviyesine göre değerlendirilmektedir. Manyetik parçacık ve penetrant muayene metodunda izin verilen lineer belirti uzunluğu 2 mm’dir.

ISO 5817’ye göre kalite seviyeleri	ISO 17638’e uygun test teknikleri ve seviyeleri	ISO 23278’e göre kabul seviyeleri
B	Kalite seviyesi tanımlanmadı	2 X
C	Kalite seviyesi tanımlanmadı	2 X
D	Kalite seviyesi tanımlanmadı	3 X

Şekil 4 – MT yöntemi için değerlendirme standartları arası ilişki



Şekil 5 – Kaynaklı imalatların değerlendirme standartları arası ilişki

İşletme aşamasında yapılan kontrollerde işlem sırası ve değerlendirme kriterleri şu şekilde uygulanabilir:

- İlk olarak gözle muayene, ardından diğer yüzeysel tahribatsız muayene metotları uygulanmalıdır. Uygulanan yüzeysel metotlar sonucu süreksizlik tespit edilmemiş ise ve gerekli olduğu düşünülüyorsa hacimsel metotlar kullanılmalıdır. Yorulma çatlakları yüzeysel yöntemlerle tespit edilebildiklerinden, yüzeysel metotlar çoğu zaman yeterli olmaktadır. EN 17635 standardı mümkünse önce EN 17637 standardına göre gözle muayenenin uygulanmasını, manyetik muayene ve penetrant muayenenin gözle muayene ek olarak uygulanması gerektiğini belirtmektedir.
- Gözle muayene ile imalat kaynaklı süreksizlikler araştırılmalı, tespit edilen süreksizlikler mevcut imalat standardının öngördüğü kalite seviyesiyle karşılaştırılmalıdır. Kalite seviyesi yoksa, ISO 5817 B kalite seviyesi baz alınmalıdır.
- Tüm kaynak dikişleri ve kritik malzeme bölümleri manyetik parçacık veya penetrant muayene ile kontrol edilmeli; manyetik parçacıkla muayene yöntemiyle tespit edilen 1,5 mm'den uzun süreksizlikler, penetrant muayene yöntemiyle tespit edilen 2 mm'den uzun olan ve kaynak yüzeyi veya ITAB bölgesinde bulunan lineer belirtilerle, malzeme bulunan tüm lineer belirtiler reddedilmelidir.

## 5. PERSONEL VASFI

İşletme aşaması tahribatsız muayene kontrollerinde görevlendirilecek personel TS EN ISO 9712 standardına göre vasıflandırılmış ve belgelendirilmiş olmalıdır. Ayrıca, işletme aşamasında kaynak muayenesini yapacak personelin belgesi imalat sektörlerinden kaynaklar(w), endüstriyel sektörlerden imalat ve imalatı içeren öncesi ve hizmet esnasındaki deney kapsamını sağlamalıdır. Ayrıca muayene işlemini gerçekleştiren personel ilgili yöntemde en az seviye 1, değerlendirmeyi yapacak personel en az seviye 2 belgeli olmalıdır.

Etkin bir muayene ve değerlendirme için işletme aşamasında yapılacak kontrollerde görev alacak personelin yetkinliği şu şekilde olmalıdır:

- Kaynaklı imalat ve malzeme konusunda bilgi sahibi olmalıdır.
- Gözle muayene sertifikasına sahip olmakla birlikte, manyetik muayene ve/veya penetrant muayene sertifikasına sahip olmalıdır.
- Muayenesi yapılacak ekipman veya konstrüksiyonun işletme koşulları hakkında bilgi sahibi olmalıdır.

## 6. SONUÇ

İşletme aşaması kontrollerinde tahribatsız muayene yöntemleri yorulma çatlaklarının tespit edilmesi için kullanılan önemli bir bileşenidir. Yetkinliği onaylanmış ve tecrübeli operatörler vasıtasıyla, doğru noktalardan yapılan tahribatsız muayene işlemleri ile yorulma çatlakları kolaylıkla tespit edilmekte ve gerekli önlemler alınabilmektedir. Kullanım ömrü boyunca oluşan yorulma çatlaklarının tespitinde kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri, iş kazalarının önlenmesi konusunda etkilidir.

## **KAYNAKLAR**

Karadeniz S., Karadeniz Ö, Tahribatsız Malzeme Muayenesi Cilt 1, Yayın No: MMO/685-1, 2018.

Bir İş Kazasının Tahribatı ve Tahribatsız Muayene Yöntemleriyle Analizi, Mühendis ve Makina Güncel, Mayıs 2021

Metal Konstrüksiyonların ve Makina Parçalarının Yorulma Dayanımı ve Örnek Bir Analiz Çalışması, MMO Bursa Şube Bülteni, Nisan 2010

Kaldırma Makinalarında Yorulma Test ve Analizleri, Yayın No: MMO/572, 2011

<http://kemm.org.tr>

## **KISA ÖZGEÇMİŞLER**

### **Burak Bayraktaroğlu<sup>1</sup>**

1985 doğumludur. Uludağ Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü mezundur. Yüksek lisansını Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. 2017-2020 yılları arasında ISO 9712 NDT Seviye 3 sertifikalarını, 2016 yılında Kaynak Mühendisliği sertifikasını almıştır. 2009 yılından itibaren MMO Bursa Şubede çeşitli konularda çalışmıştır. Makina Mühendisleri Odası bünyesinde Muayene kuruluşu ve Personel Belgelendirme akreditasyon çalışmalarında yer almıştır. 2018 yılından itibaren TMMOB Makina Mühendisleri Odası Kaynak Eğitim ve Muayene Merkezinde çalışmalarını sürdürmüştür. Kaynak Eğitim ve Muayene Merkezi bünyesinde kurulan Tahribatsız ve Tahribatlı muayene laboratuvar çalışmalarında yer almış olup şu anda KEMM bünyesinde Tahribatsız Muayene Eğitimlerinde görev almaktadır.

# TS EN ISO 9712 STANDARDINA GÖRE TAHRİBATSIZ MUAYENE PERSONELİNİN BELGELENDİRİLMESİNDE STANDARDIN 2022 REVİZYONU İLE BİRLİKTE ADAYLAR İÇİN UYGULAMADA ORTAYA ÇIKAN YENİLİKLER

Yusuf Ahmet ŞENER<sup>1</sup>, Metalurji & Malzeme Müh.(M.Sc.) ve Kaynak Müh.  
VT, PT, MT, ET, RT, UT Seviye III

Kaan SELVİ<sup>2</sup>, Makina Müh.(B.Sc.) ve Kaynak Müh.  
VT, PT, MT, ET, RT, UT Seviye III

Rıza KUTLUER<sup>3</sup>, Metalurji & Malzeme Müh (B.Sc.) ve Kaynak Müh.  
VT, PT, MT, ET, RT, UT Seviye III

*<sup>1</sup>TSE Makine Laboratuvarı Gebze Müdürlüğü Tahribatsız Muayene Laboratuvarı Teknik Şefliği*

*e-posta: [ysener@tse.org.tr](mailto:ysener@tse.org.tr)*

*<sup>2</sup>TSE Makine Laboratuvarı Gebze Müdürlüğü Tahribatsız Muayene Laboratuvarı Teknik Şefliği*

*e-posta: [kselvi@tse.org.tr](mailto:kselvi@tse.org.tr)*

*<sup>3</sup>TSE Makine Laboratuvarı Gebze Müdürlüğü Tahribatsız Muayene Laboratuvarı Teknik Şefliği*

*e-posta: [rkutluer@tse.org.tr](mailto:rkutluer@tse.org.tr)*

Tahribatsız muayene yöntemleri, ürünlerin üretim ve işletme süreçlerinde oluşması muhtemel, ürün performansını olumsuz etkileyebilecek veya zamanla hasar oluşumuna yol açabilecek yüzeysel ya da hacimsel süreksizliklerin tespiti için yaygın olarak kullanılmakta ve her geçen gün önemi daha da artmaktadır. Kurallara uygun, doğru, bilimsel tahribatsız muayene uygulamalarının yapılabilmesi ise öncelikle alanında uzman ve yetkin personel ile mümkündür. Bu sebeple, tahribatsız muayene personeline yetkinlik, uzmanlık kazandırma kurallarını detaylı olarak tanımlayan “Tahribatsız muayene personeli vasıflandırma ve belgelendirme” standartları oluşturulmuş ve tahribatsız muayene yapacak personelin çalışacağı sektöre ve uygulayacağı tahribatsız muayene yöntemine uygun olarak ilgili standartlara göre belgeli olması gerek şart olmuştur. Bu standartlardan biri de Ülkemizde ve Dünya’da yaygın olarak kullanılan TS EN ISO 9712 standardıdır.

Bu bildiri TS EN ISO 9712 standardının 2022 revizyonu sonrası, belgelendirilmek isteyen adaylar için vasıflandırma ve belgelendirme süreçlerinde ortaya çıkan yenilikler anlatılacak ve tahribatsız muayene uzman adaylarına, belge sahiplerine ve sektöre sağlayacağı faydalar yorumlanacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Tahribatsız muayene, NDT, vasıflandırma, belgelendirme, TS EN ISO 9712

## 1) GİRİŞ

Dünya’da halihazırda kabul görmüş ve uygulanmakta olan TS EN ISO 9712, TS EN 4179, ACCP gibi merkezi tahribatsız muayene personel belgelendirme sistemleri ve SNT-TC-1A, NAS 410 gibi kurum içi tahribatsız muayene personel belgelendirme sistemleri bulunmaktadır.

Bu standartlar arasında belgelendirme süreçleri içerisinde bazı ufak farklar olsa da belgelendirme koşulları genel olarak aynıdır. Belge istenen yöntem ve seviyeye uygun olarak; gerekli tecrübe süresinin ispatlanması, teorik ve pratik eğitimin alınması, görme kabiliyetinin doğrulanması ve tüm bu şartların sağlanması koşulu ile vasıflandırma sınavına girerek başarılı olunması halinde adaylar belge almaya hak kazanmakta ve ilk belgelendirmenin tamamlanmasından sonra belirli periyotlarla belge geçerlilik süresini uzatmak durumundadır.

Personel belgelendirme standartları arasında uyum sağlama çabaları, değişen ve gelişen teknolojiye, ihtiyaçlara paralel olarak ortaya çıkan dijital radyografi, bilgisayarlı tomografi, fazlı diziliş (Phased-Array), Uçuş süresi difraksiyon tekniği (TOFD) gibi ileri tahribatsız muayene teknikleri tahribatsız muayene personel belgelendirme standartlarında zaman içerisinde revizyon yapma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. TS EN ISO 9712 standardının 2022 revizyonunda da yukarıda saydığımız hususların etkili olduğu söylenebilir.

## 2) TS EN ISO 9712 STANDARDININ 2022 REVİZYONU İLE BİRLİKTE UYGULAMADA ORTAYA ÇIKAN YENİLİKLER

### 2.1) Tahribatsız Muayene Eğitimleri:

İlk belgelendirme sınavına girebilmek için adayın ilgili metot ve seviyede alması gereken minimum eğitim süreleri saat bazında tanımlı iken 2022 revizyonu ile birlikte gün olarak tanımlanmıştır. Tablo-1 standardın 2022 revizyonunda tahribatsız muayene yöntem ve seviyelerine göre adayın alması gereken en az eğitim sürelerini belirtmektedir.

**Tablo-1:** TS EN ISO 9712:2022 ‘de Tanımlanan En Az Eğitim Süreleri

NDT Metodu	Seviye 1 gün	Seviye 2 gün	Seviye 3 gün
AT-akustik emisyon	5	8	5
ET-girdap akımları	5	6	6
LT-kaçak testi	5	9	6
MT-manyetik parçacık	3	2	4
PT-sıvı penetrant	3	2	3
ST-strain gauge testi	2	3	2
TT-termografik test	5	6	5
RT-radyografik muayene	5	10	5
UT-ultrasonik muayene	8	10	5
VT-gözle muayene	3	2	3

**NOT1:** 1 günlük eğitim süresi en az 7 saattir.

**NOT2:** Radyografik muayene (RT) eğitimi, radyasyondan korunma eğitimini içermez.



Örneğin doğrudan gözle muayene seviye 2 belgesi (seviye 1 belgesi olmadan) almak isteyen adayın toplam  $3+2=5$  günlük gözle muayene seviye 1+2 eğitimi alması gerekmektedir.

İlk belgelendirme için adayın belgelendirilmek istediği metot ve seviyede aldığı eğitimin geçerlilik süresi tanımlı değilken, 2022 revizyonu ile birlikte eğitimin geçerlilik süresi 10 yıl olarak belirlenmiştir. Dolayısı ile aday eğitimi aldıktan sonraki 10 yıl içinde ilk belgelendirme sınavına girebilecektir.

2022 revizyonu ile birlikte standartta tanımlı tüm yöntem ve seviyeler için eğitimlerin teorik kısımları yüz-yüze, uzaktan eğitim, kendi kendine öğrenme ya da bunların bir kombinasyonu olacak şekilde düzenlenebilecektir. Ancak pratik eğitim sadece yüz-yüze eğitim şeklinde gerçekleştirilebilir.

## 2.2) Belgelendirme İçin Gerekli Deneyim Süresi:

İlk belgelendirme sınavına girebilmek için adayın ilgili metot ve seviyede sahip olması gereken endüstriyel deneyim süreleri ay bazında tanımlı iken 2022 revizyonu ile birlikte gün olarak tanımlanmıştır. Tablo-2 standardın 2022 revizyonunda tahribatsız muayene yöntem ve seviyelerine göre adayın sahip olması gereken en az deneyim sürelerini belirtmektedir.

**Tablo-2:** TS EN ISO 9712:2022 'de Tanımlanan En Az Deneyim Süreleri

TM Metodu	En Az Deneyim Süreleri (Gün)					
	Seviye 1	Seviye 2		Seviye 3		
		Seviye 1 belgesi var ise	Seviye 1 belgesi olmadan direkt Seviye 2 için	Yüksek öğretim mezunu ve Seviye 2 belgesi var ise	Seviye 2 belgesi var ise	Yüksek öğretim mezunu ve Seviye 2 belgesi olmadan direkt Seviye 3 için
AT, ET, LT, RT, UT, TT	45	135	180	270	450	540
MT, PT, ST, VT	15	45	60	180	240	360

Örneğin doğrudan gözle muayene seviye 2 belgesi (seviye 1 belgesi olmadan) almak isteyen adayın gözle muayene konusunda en az  $15+45=60$  günlük endüstriyel deneyimi olması gerekmektedir.

## 2.3) Görme Yeteneği:

Adayın ilk belgelendirme öncesi ve bundan sonraki her yıl yakın görüş ve renkler arası kontrastı ayırt edebildiğine dair göz muayene kaydını sunması istenirken 2022 revizyonu ile birlikte bu koşul renk görüşü testinin; ilk belgelendirme, belge yenileme, yeniden belgelendirme için geçmişe dönük 5 yıl içinde, yakın görüş testinin ise ilk belgelendirme öncesi ve bundan sonraki her yıl yapılması gerektiği şeklinde değişmiştir.

## 2.4) Vasıflandırma Sınavı:

Seviye 1, seviye 2 ve seviye 3 vasıflandırma sınavları aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:

- Çoktan seçmeli genel sınav
- Çoktan seçmeli spesifik sınav
- Uygulama sınavı

Seviye 2 vasıflandırma sınavları için daha önce uygulama sınavının içerisinde bir bölüm olarak değerlendirilen “talimat yazma” 2022 revizyonu ile birlikte ayrı bir sınav bölümü olarak tanımlanmış olup, puanlaması da ayrı olarak yapılmaktadır. Dolayısı ile talimat hazırlama bölümünden başarılı olamayan adayların tüm pratik bölümden değil, sadece talimat hazırlama bölümünden tekrar sınava girmeleri gerekecektir.

Ayrıca seviye 1 ve seviye 2 sınavlarının genel bölümlerinde sorulması gereken en az soru sayılarında da revizyonla birlikte değişiklik olmuştur. Daha önce VT, PT, MT, LT ve ST metotlarının seviye 1 ve seviye 2 vasıflandırma sınavlarının genel bölümünde sorulması gereken en az soru sayısı 30 olarak belirlenmişken, 2022 revizyonu ile birlikte tüm metotların seviye 1 ve seviye 2 vasıflandırma sınavlarının genel bölümlerinde sorulması gereken en az soru sayısı 40 olarak belirlenmiştir.

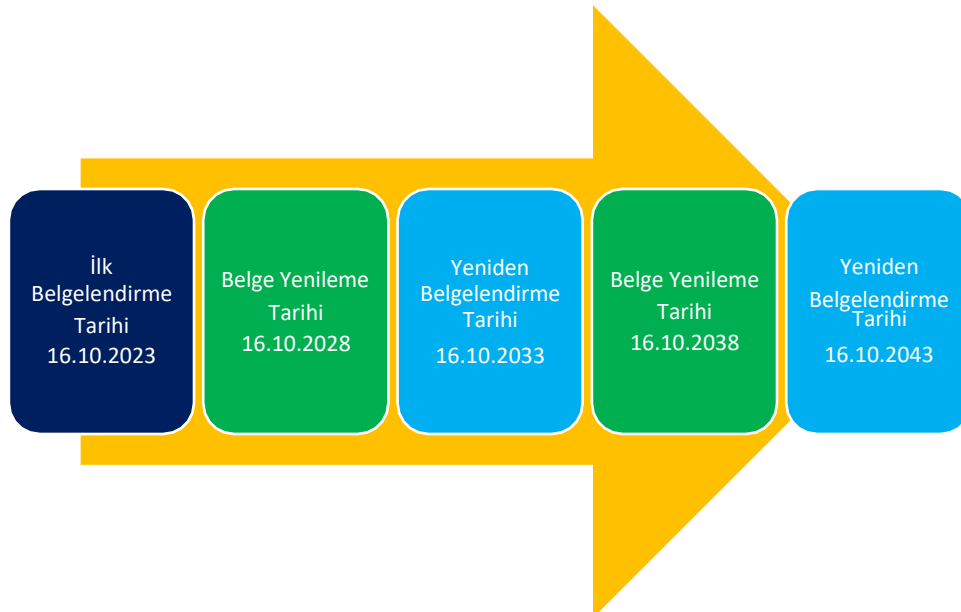
## 2.5) Belge Yenileme, Yeniden Belgelendirme Süreçleri:

Belge yenileme, ilk belgelendirmeden sonraki 5. Yıl ve bundan sonraki her 10 yılda bir yapılan belge geçerlilik süresi uzatım işlemidir.

Yeniden belgelendirme ise, ilk belgelendirmeden sonraki 10. Yıl ve bundan sonraki her 10 yılda bir yapılan belge geçerlilik süresi uzatım işlemidir.

Belge yenileme ve yeniden belgelendirme başvurusu belge sahibinin sorumluluğunda olup, belge süresinin bitiminden itibaren 12 ay içinde başvurunun yapılması gerekmektedir.

Şekil-1’de belge yenileme ve yeniden belgelendirme süreçleri ile ilgili bir örnek verilmiştir:



## Şekil-1: İlk Belgelendirme, Belge Yenileme ve Yeniden Belgelendirme Örnek Zaman Çizelgesi



Standardın 2022 revizyonu ile birlikte Seviye 1, Seviye 2 ve Seviye 3 belgeli personelin belge yenilemesi için kredili sistem ya da pratik sınav seçenekleri sunulmaktadır.

Kredili sistemle belge yenilemek isteyen belge sahiplerinin Tablo 3’de verilen ve TS EN ISO 9712 /Tablo C.1’den alınan tabloda belirtildiği şekilde 5 yıllık belge süresi boyunca gerçekleştirdikleri tahribatsız muayene faaliyetlerine ilişkin dokümante edilmiş kanıtları (Tablonun A bölümünden en az 75 puan alacak şekilde) personel belgelendirme kuruluşuna sunmaları ve bu faaliyetler karşılığında alacakları puanın 100 puan ve üzerinde olması durumunda belgeleri sınavsız olarak yenilenmektedir.

**Tablo-3: TS EN ISO 9712:2022 Ek C’de Tanımlanan Kredili Sistemle Belge Yenileme / Yeniden Belgelendirme Koşulları**

Sıra No	Aktivite	Seviye 1			Seviye 2			Seviye 3		
		Aktivite başına alınabilecek puan	Aktivitenin gerçekleştirildiği her bir yıl için alınabilecek maksimum puan	Aktivitenin gerçekleştirildiği 5 yıllık periyot için alınabilecek maksimum puan	Aktivite başına alınabilecek puan	Aktivitenin gerçekleştirildiği her bir yıl için alınabilecek maksimum puan	Aktivitenin gerçekleştirildiği 5 yıllık periyot için alınabilecek maksimum puan	Aktivite başına alınabilecek puan	Aktivitenin gerçekleştirildiği her bir yıl için alınabilecek maksimum puan	Aktivitenin gerçekleştirildiği 5 yıllık periyot için alınabilecek maksimum puan
<b>Bölüm A</b>										
1	NDT Faaliyet Performansı	2/gün	25	95	2/gün	25	95	2/gün	25	95
2	İlgili Metotta Teorik Eğitim Tamamlanması	1/gün	5	15	1/gün	5	15	1/gün	5	15
3	İlgili Metotta Pratik Eğitim Tamamlanması	2/gün	10	25	2/gün	10	25	2/gün	10	25
4	İlgili Metotta Pratik veya Teorik Eğitim Verilmesi	N/A	N/A	N/A	1/gün	15	75	1/gün	15	75
5	NDT Alanında Araştırma Faaliyetlerine ya da NDT Mühendisliğine Katılım	1/hafta	15	60	1/hafta	15	60	1/hafta	15	60
<b>Bölüm B</b>										
6	İlgili Metot ya da Teknik alanında, Teknik Bir Seminere/Makaleye Katılım	1/gün	2	10	1/gün	2	10	1/gün	2	10
7	İlgili Metot veya Teknik Alanda Teknik Bir Seminer/Makale Sunmak	1/sunum	3	15	1/sunum	3	15	1/sunum	3	15
8	NDT veya NDT ile İlgili Güncel Dernek vb. Bireysel Üyeliği	1/üyelik	2	5	1/üyelik	2	5	1/üyelik	2	5
9	İlgili Metotta NDT Personelinin/Stajyerinin Teknik Gözetimi ve Mentorluğunu Üstlenme	N/A	N/A	N/A	2/mentorluk	10	30	2/mentorluk	10	40
10	Standardizasyon ve Teknik Komitelere veya Toplantılarına Katılım	N/A	N/A	N/A	1/komite	3	15	1/komite	4	20
11	Bir Belgelendirme Kuruluşunda Teknik Bir NDT Görevi Yürütmek	N/A	N/A	N/A	2/aktivite	10	30	2/aktivite	10	40

Yeniden belgelendirme için ise sadece Seviye 3 belge sahiplerine kredili sistem ile başvuru hakkı tanınmış olup, belge yenilemeden itibaren 5 yıllık belge süresi boyunca gerçekleştirdikleri tahribatsız muayene faaliyetlerine ilişkin dokümanite edilmiş kanıtları (Tablonun A bölümünden en az 50, en fazla 70 ; Tablonun B bölümünden ise en az 30 en fazla 50 puan alacak şekilde) personel belgelendirme kuruluşuna sunmaları ve bu faaliyetler karşılığında alacakları puanın 100 puan ve üzerinde olması durumunda yeniden belgelendirme işlemi sınavsız olarak gerçekleşebilmektedir.

Seviye 1 ve seviye 2 belge sahiplerinin ise ilgili metotta pratik sınava girerek yeniden belgelendirme işlemlerini gerçekleştirmeleri gerekmektedir.

## 2.6) İleri Tahribatsız Muayene Teknikleri ile İlgili Belgelendirme Şartları:

### 2.6.1) Genel:

Standardın revizyonu ile birlikte karşımıza çıkan en büyük yeniliklerden biri daha önce standartta tanımlı olmayan UT-Phased Array, UT-TOFD, Dijital radyografi (RT-D), bilgisayarlı tomografi (RT-CT) gibi ileri tahribatsız muayene teknikleri ve bu tekniklerle ilgili belgelendirme yapılabilmesi için gerekli eğitim ve diğer koşulların net olarak tanımlanmış olmasıdır. Böylece belgelendirme kuruluşlarının bu konulardaki farklı belgelendirme uygulamalarının standart hale getirilmesi de sağlanması mümkün olmuştur.

Adayların ileri tahribatsız muayene tekniklerinden belgelendirilmek istemesi halinde, başvuracakları personel belgelendirme kuruluşunun akreditasyon kapsamında ilgili ileri tahribatsız muayene tekniğinin bulunup bulunmadığını kontrol etmesi faydalı olacaktır.

### 2.6.2) İleri Ultrasonik Muayene Teknikleri:

Tablo-4.1 ileri ultrasonik muayene teknikleri ile ilgili ilk belgelendirme öncesi eğitim şartlarını, Tablo 4.2 ise ilave koşulları tanımlamaktadır.

**Tablo-4.1:** TS EN ISO 9712:2022 Ek F’de Tanımlanan İleri UT Teknikleri ile İlgili İlk Belgelendirme Öncesi Eğitim Şartları

Teknik	Kısaltma	Eğitim Gereksinimi (Gün)		
		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
UT (Tablo-1'e Göre)		8	10	5
Uçuş süresi difraksiyon tekniği	UT-TOFD	5	5	N/A
Fazlı Diziliş	UT-PA	5	5	N/A

**Tablo-4.2:** TS EN ISO 9712:2022 Ek F’de Tanımlanan İleri UT Teknikleri ile İlave Belgelendirme Şartları

Teknik	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
UT-TOFD	UT1	UT2	N/A
UT-PA	UT1	UT2	N/A

N/A : uygulanamaz

Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 incelendiğinde şu değerlendirmeler yapılabilir:

- UT-TOFD veya UT-Phased Array tekniklerinde seviye 1 belge sahibi olabilmek için ön koşul TS EN ISO 9712’ye göre geçerli bir UT1 belge sahibi olmak, UT-TOFD veya UT-Phased Array tekniklerinde seviye 2 belge sahibi olabilmek için ön koşul ise TS EN ISO 9712’ye göre geçerli bir UT2 belgesi sahibi olmaktır. UT seviye 3 belge sahipleri bu koşulu hali hazırda sağlamış olarak kabul edilmektedir.
- UT-TOFD veya UT-Phased Array tekniklerinde seviye 1 belge sahibi olabilmek için 5 gün, seviye 2 belge sahibi (seviye 1 belgesi olmadan) olabilmek için ise 5+5=10 günlük eğitim alınarak vasıflandırma sınavına girilmesi gerekmektedir.
- UT-TOFD veya UT-Phased Array tekniklerinde seviye 3 belgesi alınamaz.

Ayrıca TS EN ISO 9712 Madde F2.2’de herhangi bir UT tekniğinde alınan belgenin geçerli olabilmesi için UT ana metot sertifikasının da geçerli olması gerektiği belirtilmiştir. Dolayısı ile örneğin UT-TOFD Seviye 1 belge sahibi olmak isteyen adayın öncelikle UT seviye 1 belgesi alması gerekmekte ve 5 yıllık belge geçerlilik süreleri sonunda hem UT-TOFD hem de UT belgelerinin geçerlilik süresini uzatmak durumundadır.

### 2.6.3) İleri Radyografik Muayene Teknikleri:

Tablo-5 ileri radyografik muayene teknikleri ile ilgili ilk belgelendirme öncesi eğitim şartlarını özetlemektedir.

**Tablo-5:** TS EN ISO 9712:2022 Ek F’de Tanımlanan İleri RT Teknikleri ile İlgili İlk Belgelendirme Öncesi Eğitim Şartları

Teknik	Sınırlı Kapsamlı Teknik	Kısaltma	Eğitim Gereksinimleri (Gün)		
			Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Film & Dijital		RT-FD	8	10	8
Film		RT-F	5	10	5
Dijital		RT-D	5	10	5
Bilgisayarlı Tomografi		RT-CT	4	5	5
Radyoskopi		RT-S	4	4	5
	RT Film Değerlendirme	RT-FI	N/A	8	N/A
	RT Dijital Görüntü Değerlendirme	RT-DI	N/A	8	
	RT Film ve Dijital Görüntü Değerlendirme	RT-FDI	N/A	9	

Tablo 5 incelendiğinde şu değerlendirmeler yapılabilir:

- Film değerlendirme (RT-FI), dijital görüntü değerlendirme (RT-DI) ve film & dijital görüntü değerlendirme (RT-FDI) tekniklerinde seviye 1 veya seviye 3 belgesi alınamaz.
- Tablo film & dijital radyografi (RT-FD), dijital radyografi (RT-D), bilgisayarlı tomografi (RT-CT) ve radyoskopi (RT-S) teknikleri için seviye 1, seviye 2 ve seviye 3 bazında ilk belgelendirme öncesi gerekli en az eğitim sürelerini ayrı ayrı tanımlamıştır. Örneğin film & dijital radyografi (RT-FD) seviye 2 belge sahibi (seviye 1 belgesi olmadan) olabilmek için  $8+10=18$  günlük eğitim alınarak vasıflandırma sınavına girilmesi gerekmektedir.

Ayrıca TS EN ISO 9712 Madde F3.2’de herhangi bir RT tekniğinde alınan belgenin geçerli olabilmesi için RT ana metot sertifikasının (RT-F olarak tanımlanan filmler için RT sertifikasının) da geçerli olması gerektiği belirtilmiştir. Dolayısı ile örneğin RT-D Seviye 1 belge sahibi olmak isteyen adayın öncelikle RT-F seviye 1 belgesi alması gerekmekte ve 5 yıllık belge geçerlilik süreleri sonunda hem RT-D hem de RT-F belgelerinin geçerlilik süresini uzatmak durumundadır.



### 3) DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

TS EN ISO 9712 Standardının 2022 revizyonu belgelendirilecek adayları etkileyecek yenilikler getirmiştir. Özetle:

-Belgelendirilmek istenen metot ve seviyeye bağlı olarak gerekli en az eğitim süreleri Tablo-1'de belirtildiği şekilde “gün” olarak tanımlanmıştır. Dolayısı ile adaylar belgelendirme başvuru aşamasında, “gün” bazında yeterli eğitimi aldıklarını belgelendirme kuruluşuna sunmalıdır.

-Adaylar belgelendirme başvuru aşamasında, belgelendirme talep edilen metot ve seviyeye bağlı olarak belgelendirme için gerekli ön koşullardan biri olan “gerekli en az endüstriyel deneyim süresini” Tablo-2’de verilen sürelerle uyumlu olarak gün bazında belgelendirme kuruluşuna sunmalıdır.

- Adaylar ilk belgelendirme, belge yenileme, yeniden belgelendirme başvuru aşamalarında belgelendirme için gerekli ön koşullardan biri olan renk görüşü ve yakın görüş kriterlerinin sağlandığına dair belgeyi ve ayrıca belgelendirme süreçleri tamamlandıktan sonraki her yıl yakın görüş kriterlerinin sağlandığına dair belgeyi belgelendirme kuruluşuna sunmalıdır.

-Seviye 2 vasıflandırma sınavlarında adaylara sorulan “talimat hazırlama” sorusu pratik sınavdan ayrı bir bölüm olarak sorulacağından ve bu bölümün puanlaması da ayrı olarak yapılacağından “talimat hazırlama” sınavından başarısız olan bir adayın sadece bu bölümden tekrar sınavına girmesi gerekecektir. Standardın 2013 versiyonu ile kıyaslandığında bu durum adaylar açısından olumlu bir gelişme olarak düşünülebilir. Nitekim 2022 revizyonu öncesinde talimat sınavı pratik sınavın bir bölümü olarak uygulandığı için talimat sınavından başarısız olan adayın pratik bölümden de tekrar sınavına girmesi gerekmekte idi. Ayrıca 2022 revizyonu ile birlikte tüm metotların seviye 1 ve seviye 2 vasıflandırma sınavlarının genel bölümlerinde sorulması gereken en az soru sayısı 40 olarak revize edilmiştir.

-Seviye 1, seviye 2 ve seviye 3 belge sahipleri, belge yenileme süreçlerinde kredili sistem ya da pratik sınav yoluyla belge geçerlilik süresini uzatabileceklerdir. Kredili sistem şartlarını sağlamayan adaylar pratik sınav yoluyla belge yenileme yapabilecektir. Böylece belge sahibinden; belgeli olduğu yöntem ve seviyede aktif olarak çalıştığını, görev ve sorumlulukları yerine getirebilecek teorik ve pratik yetkinliklerinin devam ettiğini hazırladığı muayene raporları, katıldığı komite-toplantılar, yöntemle ilgili hazırladığı makaleler gibi dokümanlar edilmiş kanıtlarla veya bunu yapamıyorsa pratik sınava katılarak ispatlaması istenmektedir. Standardın 2013 versiyonu ile kıyaslandığında bu yaklaşımın faydalı olduğu ve belge yenileme süreçlerinde yaşanabilecek suiistimalleri önlemek adına atılmış bir adım olarak değerlendirilebileceği söylenebilir.

- UT-Phased Array, UT-TOFD, RT-D (dijital radyografi), RT-CT (bilgisayarlı tomografi) gibi ileri tahribatsız muayene tekniklerinde belgelendirilmek istenen adaylar öncelikle belgelendirilmek istedikleri vasıflandırma seviyesine uygun olarak ana metot sertifikasına (UT, RT-F) sahip olmalı, ardından Tablo 4.1 ve Tablo 5’te verilen süreler kadar eğitimi tamamlayarak vasıflandırma sınavına katılmalıdır. Belge sahibi olduktan sonra ise belge yenileme / yeniden belgelendirme süreçlerinde hem ileri teknikle ilgili hem de ana metotla ilgili belgelerinin geçerlilik sürelerinin uzatılması gerekmektedir.

Yukarıda belirtilen değişikliklerin adaylar tarafından dikkate alması belgelendirme süreçleri ile alakalı olarak adayların bilinçlenmesi ve genel farkındalıklarının artması açısından faydalı olacaktır.

Güncel teknolojik gelişmelere paralel olarak kullanımını giderek yaygınlaşan ve standardın 2013 versiyonunda belgelendirme şartları tanımlanmamış olan UT-Phased Array, UT-TOFD, RT-D (dijital radyografi), RT-CT (bilgisayarlı tomografi) gibi ileri tahribatsız muayene teknikleri ile ilgili eğitim ve belgelendirme koşullarının 2022 revizyonu ile birlikte tanımlanmış olması bu alandaki eksikliği gidermiş, böylece hem bu tekniklerde belgelendirilmek isteyen adaylar için hem de akreditasyon kapsamlarına bu teknikleri eklemek isteyen personel belgelendirme kuruluşları için bir yol haritası ortaya koymuş ve bu tekniklerde piyasanın ihtiyacı olan yetkin tahribatsız muayene uzmanlarının belirli bir sistematik içerisinde, akredite personel belgelendirme kuruluşları tarafından yetiştirilmesinin önü açılmıştır.

### **KAYNAKÇA**

[1] TS EN ISO 9712:2022 Tahribatsız muayene- NDT personelinin kalifikasyonu ve belgelendirme- Genel özellikler

[2] TS EN ISO 9712:2013 Tahribatsız muayene- NDT personelinin kalifikasyonu ve belgelendirme- Genel özellikler

# TOZALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİNDE ÖZLÜ TEL ELEKTROD KULLANIMI VE HER İKİ TARAFTA TEK PASOLU (TWO – RUN) KAYNAK YÖNTEMİ

*Metin Efe TÜMER<sup>1</sup>, Tanıl ATICI<sup>2</sup>*

ÇİMTAŞ Çelik İmalat Montaj ve Tesisat A.Ş.

Tel: +90224 5190250

<sup>1</sup>Kaynak Şefi, etumer@cimtas.com

<sup>2</sup>Kaynak Departman Müdürü, tatici@cimtas.com.tr

## Özet

Kaynaklı imalat uygulamalarında, modern ve yüksek performanslı kaynak prosesleri uygulanarak üretim optimize edilmekte ve bunun sonucu maliyet tasarrufu sağlanmaktadır. Maliyet tasarrufu, sektörde her zaman öncelikli hedef olmuştur.

Yapılan bu çalışmada, tozaltı ark kaynak yönteminde yüksek metal yığıma oranlarını sağlayabilen özlü tozaltı tel elektrod kullanımı, özlü tel elektrod ile her iki tarafta tek pasolu kaynak tekniğine göz atılmıştır. Özlü tel elektrod ve masif tel elektrod ile tamamlanan numunelerin mikroskopik ve makroskopik incelemeleri ile beraber mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Özlü tel elektrod, masif tel elektrod, her iki tarafta tek pasolu kaynak tekniği, yüksek performanslı tozaltı ark kaynak yöntemi, makroskopik ve mikroskopik incelemeler, mekanik özellikler

## Abstract

As a result of the application of modern and high-performance welding processes in welded manufacturing applications, production is optimized and cost savings are in turn achieved. Cost saving has always been the primary goal in the industry.

In this study, the use of cored submerged arc wire electrode, which can provide high metal deposition rates in the submerged arc welding method, and the two - run welding technique with cored wire electrode were analyzed. Microscopic and macroscopic examinations and mechanical properties of the samples completed with cored wire electrode and solid wire electrode were compared.

**Keywords:** Cored wire electrode, solid wire electrode, two - run welding technique, high performance submerged arc welding process, macroscopic and microscopic examinations, mechanical properties

## 1. Giriş

Kaynak teknolojisinin getirdiği verimlilik, başta çelik konstrüksiyon ve metal işleri endüstrisi olmak üzere, ilgili tüm endüstrilerde toplam verimliliği de önemli oranda etkilediğinden, yüksek performanslı kaynak prosesleri kullanmak her zaman öncelikli çözüm yollarından biri olmuştur. Çünkü maliyet tasarrufu sağlayan bir üretim, bir şirketin varlığını garanti altına almanın ve dolayısıyla sanayileşmiş bir ülkenin gelişiminin temelidir.

Kaynaklı imalat sektöründe uzmanlar, ergitme – ark kaynağı teknolojisi çeşitliliğinden, performans ve kalite açısından mükemmel bir birleştirme teknolojisi olan tozaltı ark kaynağının en uygun seçenek olduğunu bilmektedir. Tozaltı ark kaynak yönteminin uygulanabilmesi, ancak bazı özel koşulların yerine getirilmesini gerektirmektedir; örneğin erişilebilirlik, yeterli metal levha kalınlığı, dikiş uzunluğu, vb.

Tozaltı ark kaynak yönteminde, uygun prosedür tipi seçilerek üretim maliyetlerini en aza indirmeye çalışılır. Bu seçimde, kaynak birleşimi tarafından karşılanması gereken mekanik ve kimyasal gereksinimlere dayanarak kullanılacak tel / toz kombinasyonu özellikle dikkate alınır. Kaynak metalinin en iyi tokluk davranış özellikleri, çok katmanlı ve çok pasolu kaynak tekniğinde, yüksek bazik karakteristikli kaynak tozlarıyla elde edildiği uzun zamandır bilinmektedir. Ekonomik verimlilik ve performans nedenleriyle tek taraflı tek katman veya çift taraflı tek katman gibi her iki tarafta tek pasolu kaynaklar isteniyorsa, çok pasolu kaynaklarda gerçekleşen birbirini takip eden pasoların birbirini normalize etme etkisi, tek pasolu kaynaklarda oluşmadığından kaynak birleşiminde yeterli çentik darbe tokluk özellikleri elde edilememektedir. Düşük çentik darbe toklukları, mevcut masif tel elektrotların kullanım alanlarını tek pasolu kaynaklarda sınırlamaktadır. Bu sorunu çözmek için kaynak metaline belirli kimyasal veya mekanik özellikler kazandıran mikro alaşımları içeren özlü tozaltı tel elektrotlar geliştirilmiştir. Ayrıca özlü tozaltı tel elektrotlarındaki metal yığılma oranının, masif tel elektrotlara kıyasla daha yüksek olması nedeniyle yüksek performans sonucu maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Sonuç olarak bu çalışmada, rüzgar kuleleri, basınçlı kaplar, çelik konstrüksiyon, gemi ve dikişli boru gibi kaynaklı imalat alanları için tozaltı ark kaynak yönteminde, özlü tel kullanmanın kaynaklı imalat sektörünün gelişiminde elde edebileceği avantajlar ve her iki tarafta tek pasolu (two-run) kaynaklarda elde edilebilen yüksek mekanik davranış özellikleri incelenmiştir.

## 2. Tozaltı Ark Kaynak Yönteminde Özlü Tel Elektrodun Avantajları

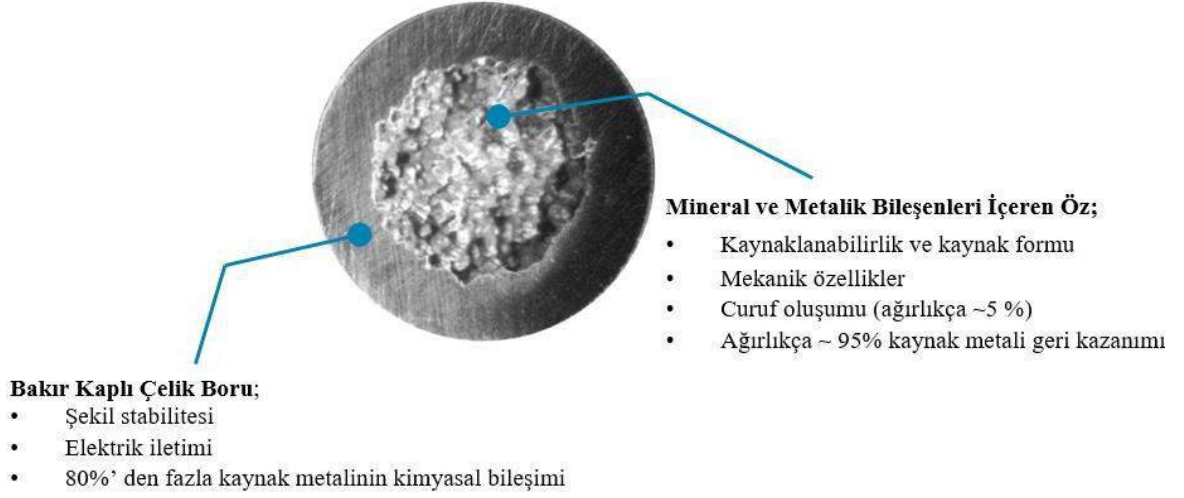
Birçok imalat ve endüstriyel kaynak uygulamasında üretkenlik önemlidir. Ancak kaliteden ödün vermeden verimi en üst düzeye çıkarmak proses, prosedür, ekipman ve sarf malzemelerinin dikkatli bir şekilde seçilmesini gerektirir. Tozaltı ark kaynak yöntemi, yüksek verimli, yüksek üretkenlikli, tel beslemeli bir prostestir. Genellikle basınçlı kap imalatı, açık deniz ve rüzgar kulesi üretimi gibi zorlu ağır endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır.

Masif tel elektrotlar, tozaltı ark kaynak yönteminde için en yaygın kullanılan seçimdir. Ancak özlü tel elektrotlar ile prosesin verimlilik avantajları daha da artırılabilir.

### 2.1 Özlü Tel Elektrodun Temelleri ve Mekanik Özelliklere Etkisi

Özlü tel elektrotlar, kaynağa belirli kimyasal veya mekanik özellikler kazandırmak için üretilen tozla dolu tüplerden çekilir. Bu tel tasarımının birincil avantajı, kaynak metal yığılma oranlarının artmasıdır. Özlü tel, yüksek ısı girdisi ve yüksek seyreltme (dilution) kaynaklarını telafi etmek için kaynağı alaşımlamak için de kullanılmaktadır. Titanyum ve bor gibi mikro – alaşımları içeren özlü tel elektrod ile alaşımlandırma, kaynaktan sonra ince aseküler ferritik bir metalografik yapı elde etme olanağını sağlamaktadır. Buna ek olarak, öz bileşimine temel elementlerin eklenmesi, tokluk dayanımını artırmak için kaynak tortusundaki oksijen içeriğini azaltmaktadır.

Özlu tel elektrodun geliştirilmesi ve üretimi oldukça esnek ve farklı taleplere duyarlı olabilir. Bu, gelişen endüstri trendlerini ve uygulama gereksinimlerini karşılamaya yardımcı olur ve bazı uygulamalarda esneklik sunmaktadır. Özlu tel elektrodun bileşenleri ve detayları Şekil – 1’ de [1] gösterilmiştir.



Şekil – 1: Özlu Tel Elektrod ve Bileşenleri

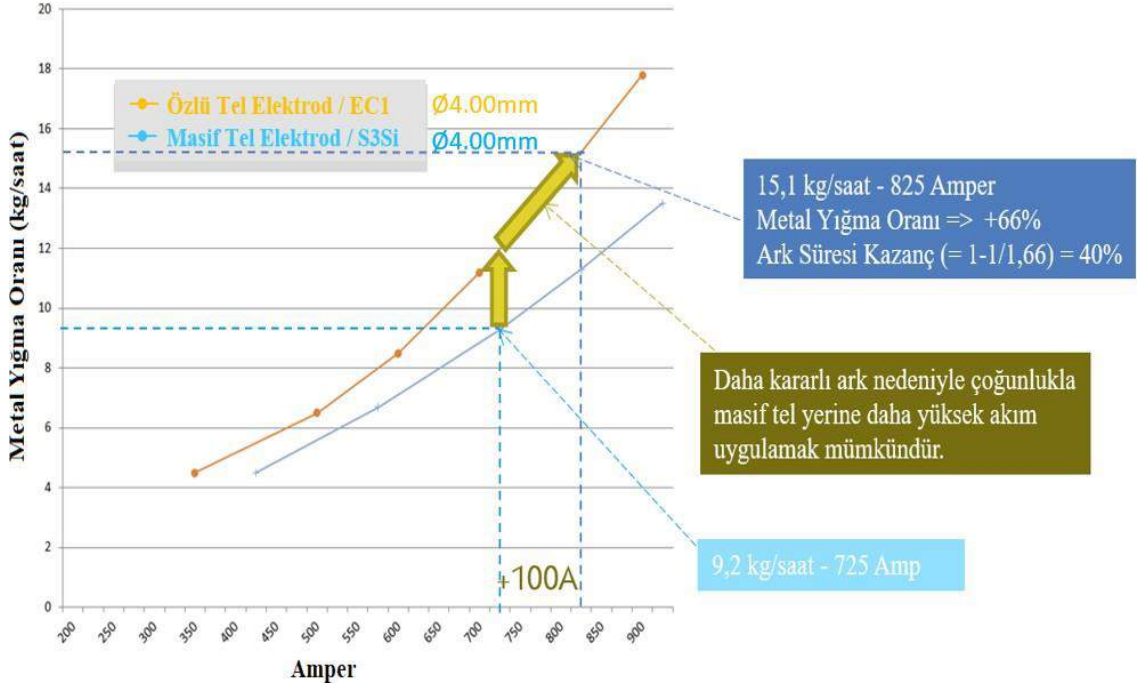
## 2.2 Yüksek Metal Yığıma Oranı ve Maliyet Tasarrufu

Özlu tel elektrodunlar, daha yüksek metal yığıma oranlarından (kg / saat) dolayı kaynaklı imalat alanlarında yüksek üretkenlik ve verimlilik sağlamaktadır. Özlu tel elektrodun, belirli bir akım şiddetini elde etmek için aynı çapa ve aynı serbest tel mesafesine sahip masif tel ile karşılaştırıldığında daha yüksek tel besleme hızı gerektirir. Bunun nedeni, özlu telin artan akım yoğunluğu ve dirençli ısıtma etkisidir. Arkın enerjisi, genellikle toz haline getirilmiş özün aksine telin katı dış (kılıfında) yoğunlaşır. [2]

Özlu tel elektrodunlar ile artan metal yığıma oranları, masif tel elektrodunlara kıyasla aynı sürede daha fazla ilave kaynak metali yığıma olanağı sağlamaktadır. Bu durum, amper ve voltaj gibi kritik kaynak parametrelerini önemli ölçüde değiştirmeden yapılabilmektedir.

Özlu tel elektrodunlar ile metal yığıma oranları arttığında, masif tel elektrodunlara göre daha yüksek kaynak hızları kullanılabilir ve yine de belirli bir kaynak boyutunu korumak mümkündür. Bu neticede, özlu tel elektrodun kullanımı, süreci hızlandırarak ve bir kaynağın tamamlanma süresini azaltarak verimliliği artırma fırsatı yaratmaktadır. İşçilik, herhangi bir kaynaklı imalatın en büyük maliyetidir. Ark süresindeki küçük azalmalar bile uzun vadede kaynak kalitesinden ödün vermeden büyük maliyet tasarrufu sağlayabilmektedir.

Ø4 mm çapına sahip özlu ve masif tel elektrodunların saatteki metal yığıma oranları Şekil – 2’ de [1] karşılaştırılmıştır. Her iki tel elektrodun ile tamamlanan kaynaklarda serbest tel mesafesi 30mm’ dir.



Şekil – 2: Özlü Tel Elektrod ve Masif Tel Elektrodun Metal Yığıma Oranlarının Karşılaştırılması

### 3. Özlü Tel Elektrodla Her İki Tarafda Tek Pasolu (Two-Run) Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi

Tozaltı ark kaynak yönteminde, kaynak metalinin davranış özellikleri, tel elektrod ile tozaltı tozunun birleşmesinden elde edilir. Bu birleşimde çeşitli seçimler, kaynak metalini etkilemek için gazaltı kaynak tel elektrodlarına göre olanak sayısını artırmaktadır. Örneğin çok az miktarlarda alaşım elementlerini içeren tozaltı özlü tel elektrodlar kullanılarak özel bir etki, yani düşük sıcaklıklarda yüksek tokluk davranış özellikleri elde edilebilir.

Ekonomik verimlilik ve performans yararlarıyla çift taraflı tek katman; yani iki pasolu (two – run) tozaltı ark kaynak yöntemi, 8 ile 25 mm kalınlıkta ince taneli çeliklerin kaynakları için kullanılır. [4]

Kaynak metal ve ana metalin ısıdan etkilenmiş bölgesinde (IEB) düşük sıcaklıkta yüksek çentik darbe değerleri elde edebilmek için yüksek kaynak hızı kullanmak gerekir. Bununla birlikte kaynak dikişinin iyi bir görünüş arz etmesi istenir ki yüksek derecedeki bazik tozaltı tozlarıyla, yüksek kaynak hızlarında bunun elde edilmesi oldukça güçtür. Ayrıca, birinci dikişle ikinci dikişin iç yapısı, kaba bir primer kristalizasyon yapısıdır; dokuyu inceltme, müteakip dikişlerin ısı etkisinden beklenemez. Bu faktörlerin birleşimi bugüne dek iki pasolu (two – run) kaynak tekniğinin uygulanmasını sadece -20° C' a kadar iyi bir tokluğun arandığı malzemelerle sınırlanmaktadır. [4]

Mikro-alaşımli özlü tozaltı tel elektrodlarıyla bu soruna bir çözüm getirilmiş olmaktadır. Titanyum (400 ile 600 ppm) ve bor (40 ile 60 ppm) [3] ile alaşımlandırma, kaynaktan sonra optimum bir metallografik yapı elde etme olanağını sağlamaktadır. Bu iki element yığılan kaynak metaline hem tel, hem de tozaltı tozuyla kazandırılabilir; bununla birlikte bunların iyi bir geçişini sağlamak için bazik karakteristekli bir tozaltı tozu kullanmak gerekir. Düşük oksijen oranı (200 ile 400 ppm arasında O<sub>2</sub>) kaynak metaline sadece bazik tozlar tarafından verilebilir. Yeterince oksitten temizlenmiş bir kaynak banyosunda bor, katılaşma dokusu içinde östenit tanesi birleşmeleri boyunca yayılır.  $\gamma$ - $\alpha$  dönüşümü yavaşlar ve irili ferrit partiküllerinin



oluşumu önlenmiş olur ve ince bir asiküler ferrit yapı ortaya çıkar. Bu primer kristalizasyon yapı, iyi çentik darbe mukavemetli bir kaynak metali teşkil eder. [4] Asiküler ferrit tanelerinin genellikle metalik olmayan inklüzyonlar üzerinde çekirdeklenebileceği kaydedilmiştir. Bu nedenle bu faza inklüzyonlar açısından zengin olan kaynak metalinde rastlanabileceği ifade edilmektedir. [5]

#### 4. Yapılan Deney ve Analizler

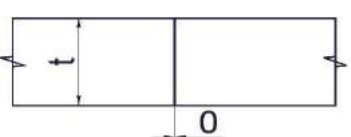
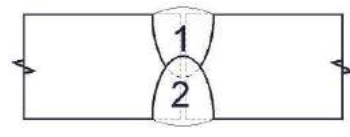
EN ISO 15614-1 – Level 2 [6] standardına göre yapılan küt kaynak ağzı formuna sahip kaynak prosedür deneylerinde, her iki tarafta tek pasolu kaynak tekniği (two – run) özlü tel elektrod ile tamamlanan test parçalarının tahribatsız muayeneleri adına; %100 ultrasonik, sıvı penetrant ve kaynak dikişlerinin görsel muayeneleri tamamlanmıştır. Test parçalarının tahribatlı testleri için; transvers çekme ve eğme deneyleri, kaynak metali ve ısıdan etkilenmiş (IEB) bölgenin tokluk deneyleri, makro ve sertlik analizleri tamamlanmıştır. Tüm kaynak deney prosedürlerinde, aynı imalatçının ürettiği EN 10025-2 [7] S355 K2+N malzeme kalitesindeki test parçaları kullanılmıştır. Tahribatsız muayeneler ve tahribatlı testler için tamamlanan deney ve analizlerin ilgili standartları Tablo – 1’ de belirtilmiştir.

Tablo - 1: Tamamlanan Deney ve Analizler

Muayene Standardı / Deney	Muayene / Deney Tipi	Muayene Kapsamı / Deney	Kabul Kriteri
ISO 17637	Görsel Muayene	100%	ISO 5817-B
ISO 17640	Ultrasonik Muayenesi	100%	ISO 11666 AL2
ISO 3452-1	Sıvı Penetrant Muayenesi	100%	ISO 23277 Level 2
ISO 4136	Enine Çekme Deneyi	2 Deney Numunesi	ISO 10025-2
ISO 5173	Enine Eğme Deneyi	4 Deney Numunesi	ISO 5817-B
ISO 9016	Çentik Darbe Deneyi	2 Takım Numunesi	ISO 10025-2
ISO 9015-1	Sertlik Deneyi	-	ISO 15614-1
ISO 17639	Makroskopik ve Mikroskopik Muayene	1 Deney Numunesi	ISO 5817-B

Özlü tel elektrod ile tamamlanan tüm kaynak deney prosedürlerinde kullanılan test parçalarının kaynak ağzı formu, paso sıralamaları, kalınlıkları, elektriksel parametre ve kaynak hızı ve ısı girdisi aralıkları Tablo – 2.a ve 2.b’ de gösterilmiştir.

Tablo - 2.a: Özlü Tel Elektrod - Kaynak Ağzı Formu, Paso Sıralaması ve Test Parçası Kalınlıkları

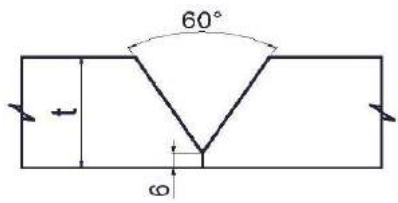
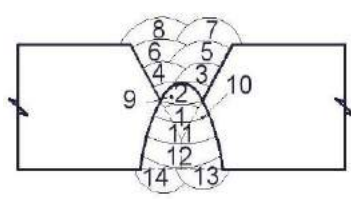
Kaynak Ağzı Formu	Paso Sıralaması	Test Parçası Kalınlıkları (mm)
		12
		15
		20

Tablo – 2.b: Özlü Tel Elektrod - Elektriksel Parametre, Kaynak Hızı ve Isı Girdisi Aralıkları

Elektriksel Aralıkları	Parametre	Kaynak Hızı Aralıkları (mm / dk)	Isı Girdisi Aralıkları (kJ / mm)
600-850A		550 – 800	2,17 – 3,06
33V – 36V			

Yukarıda belirtilen deney ve analizlere ek olarak her iki tarafta çok pasolu, masif tel elektrod (S3Si) ile arka taraftan kök yarılarak çift taraflı olarak tamamlanan kaynak prosedür deneyindeki kaynak metali ile her iki tarafta tek pasolu (two – run), özlü tel elektrod ile tamamlanan kaynak prosedür deneyindeki kaynak metalinin,  $-40^{\circ}\text{C}$  ve  $-50^{\circ}\text{C}$  düşük sıcaklıklarda tokluk dayanımları test edilerek karşılaştırılmıştır. Masif tel elektrod ile tamamlanan kaynak prosedür deneyinde kullanılan test parçalarının kaynak ağzı formu, paso sıralamaları, kalınlıkları, elektriksel parametre ve kaynak hızı aralıkları ve ısı girdisi aralıkları Tablo – 3.a ve 3.b’ de belirtilmiştir. Her iki deney parçasında da kaynak öncesi ön tav sıcaklığı  $20^{\circ}\text{C}$ ’ dir.

Tablo – 3.a: Masif Tel Elektrod / S3Si - Kaynak Ağzı Formu, Paso Sıralaması ve Kalınlık

Kaynak Ağzı Formu	Paso Sıralaması	Test Parçası Kalınlığı (mm)
		25

Tablo – 3.b: Masif Tel Elektrod / S3Si - Elektriksel Parametre, Kaynak Hızı ve Isı Girdisi Aralıkları

Elektriksel Aralıkları	Parametre	Kaynak Hızı Aralıkları (mm / dk)	Isı Girdisi Aralıkları (kJ / mm)
500 A – 580 A		470 – 650	1,50 – 2,07
26V – 28V			

Ayrıca aynı malzeme kalitesi ve kalınlıklara sahip test parçaları üzerinde, aynı elektriksel parametreler ve kaynak hızında, sırasıyla masif tel ve özlü tel tozaltı elektrodlar ile tamamlanan altı farklı kaynak pasosunun makro ve mikro analizleri karşılaştırılmıştır. Deney kaynakları esnasında kullanılan elektriksel parametreler, kaynak hızı aralıkları ve ısı girdileri Tablo – 4’ de gösterilmiştir.

Tablo – 4: Makro ve Mikro Analiz Karşılaştırmalarında Kullanılan Kaynak Parametreleri ve Isı Girdileri

Paso Sıralaması	Amper	Voltaj	Kaynak (mm/dk)	Hızı	Isı Girdisi (kJ / mm)
Paso - 1	650	34	900		1,47
Paso - 2	700	35	800		1,84
Paso - 3	750	35	750		2,10
Paso - 4	800	35	650		2,58
Paso - 5	850	36	600		3,06
Paso - 6	850	36	800		2,30

## 5. Bulgular ve Tartışma

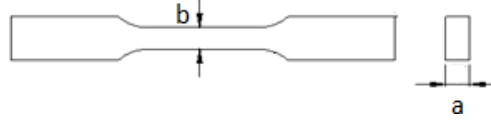
### 5.1 Özlü Tel Elektrod Enine Çekme Deneyi Sonuçları

EN ISO 10025-2 [7] standardına göre S355 K2 + N malzeme kalitesinin  $3\text{ mm} \leq t \leq 100\text{ mm}$  kalınlık aralıklarında çekme dayanım aralığı 470 ile 630 MPa arasında olması gerekir. Küt kaynak ağzı formunda, her iki tarafta tek pasolu (two – run) kaynak tekniği özlü tel elektrod ile tamamlanan deney parçalarından çıkarılan numunelerin enine çekme deneylerinde, deney numunelerinin kopmaları, kaynaklı ve ısıdan etkilenmiş bölgelerin dışından, ana malzeme bölgesinde gerçekleşmiştir. Üniversal çekme test

cihazından alınan çekme dayanım değerleri 516 MPa ile 558 Mpa arasındadır. Deney prosedürlerinde kullanılan test parçalarının kalınlık aralıklarına göre çekme dayanımları Tablo – 5’ de verilmiştir. Hazırlanan çekme deney numuneleri ise Şekil – 3’ de gösterilmiştir.

Tablo – 5: Test Parçası Kalınlık Aralıklarına Göre Çekme Dayanımları (MPa)

Deney Kalınlığı	Parçası	Numune Boyutları			Çekme Mukavemeti	
		a (mm)	b (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	N	N / mm <sup>2</sup>
t: 12 mm (1)		12,03	25,04	301,23	168183	558,3
t: 12 mm (2)		12,00	25,10	301,20	164726	546,9
t: 15 mm (1)		15,00	25,10	376,50	201924	536,3
t: 15 mm (2)		14,90	25,10	373,99	200290	535,6
t: 20 mm (1)		19,94	25,00	498,50	260048	521,7
t: 20 mm (2)		20,00	25,08	501,60	258851	516,1



Şekil – 3: Çekme Numunesi

## 5.2 Özlü Tel Elektrod Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

EN ISO 10025-2 [7] standardına göre S355 K2 + N malzeme kalitesinin  $t \leq 150$  mm kalınlığa kadar  $-20^{\circ} C$ ’ de minimum tokluk dayanımı 40 Joule’dur. Çentik darbe deneylerinde, kaynak metali,  $-40^{\circ} C$  ve  $50^{\circ} C$  test edilirken, ana metalin ısıdan etkilenmiş bölgesi (IEB)  $-20^{\circ} C$ ’ de test edilmiştir. Deney prosedürlerinde kullanılan test parçalarının kalınlık aralıklarına göre çentik darbe enerjileri Tablo – 6’ da gösterilmiştir.

Tablo – 6: Test Parçası Kalınlık Aralıklarına Göre Çentik Darbe Enerjileri (Joule)

Deney Kalınlığı / Sarf Kalifikasyonu	Çentik Yeri	Çentik Tipi	Numune Ölçüleri (mm)	Sıcaklık ( $^{\circ} C$ )	Darbe Enerjisi (Joule)			
					I	II	III	Ortalama
t: 12 mm / EC1	VWT 0/2	ISO V	10X10	-50	132	134	80	115
	VWT 0/2	ISO V	10X10	-40	160	112	90	121
	VHT 1/2	ISO V	10X10	-20	160	70	42	91
t: 15 mm / EC1	VWT 0/2	ISO V	10X10	-50	68	100	56	75
	VWT 0/2	ISO V	10X10	-40	90	120	102	104
	VHT 1/2	ISO V	10X10	-20	62	42	76	60
t: 20 mm / EC1	VWT 0/2	ISO V	10X10	-50	144	168	116	143
	VWT 0/2	ISO V	10X10	-40	172	172	152	165
	VHT 1/2	ISO V	10X10	-20	206	146	134	162

\*VWT 0/2: Kaynak Metali

\*VHT 1/2: IEB Bölgesi

### 5.2.1 Masif Tel Elektrod ile Özlü Tel Elektrodun Çentik Darbe Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Her iki tarafta çok pasolu, masif tel elektrod (S3Si) ile tamamlanan, 60° kaynak ağızı tasarımına sahip kaynak prosedür deneyindeki kaynak metalinin, -40° C ve -50° C düşük sıcaklıklarda çentik darbe enerjileri Tablo – 7’ de gösterilmiştir. Çok pasolu – masif tel elektrod ile tamamlanan kaynakların ısı girdilerininin, her iki tarafta tek pasolu (two – run) özlü tel elektrod ile tamamlanan kaynakların ısı girdilerine göre çok daha düşük olmasına rağmen, çok pasolu – masif tel elektrod ile tamamlanan kaynak metalinin düşük sıcaklıklardaki tokluk özelliklerinin, her iki tarafta tek pasolu (two – run) özlü tel elektrod ile tamamlanan kaynak metaline göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu karşılaştırma, özlü tel elektrodların mikro – alaşımlama teknolojisi ile sağladığı ince asiküler ferritik yapının düşük sıcaklıklardaki tokluk özelliklerine olumlu etkisinin, çok pasolu kaynaklardaki normalizasyon etkisinin, ısı girdisinin ve kaynak ağızı dizaynının etkilerine göre çok daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

Tablo – 7 Masif Tel Elektrod Kaynak Metalinin Düşük Sıcaklıklarda Çentik Darbe Enerjileri (Joule)

Deney Parçası Kalınlığı / Sarf Kalifikasyonu	Çentik Yeri	Çentik Tipi	Numune Ölçüleri (mm)	Sıcaklık (° C)	Çentik Darbe Enerjisi (Joule)			
					I	II	III	Ortalama
t: 25mm / S3Si	VWT 0/2	ISO V	10X10	-50	28	38	87	51
	VWT 0/2	ISO V	10X10	-40	85	72	112	90

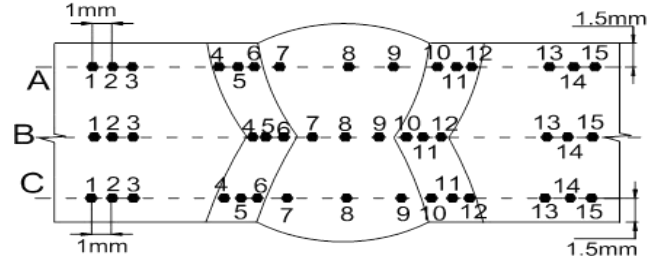
\*VWT 0/2: Kaynak Metali

### 5.3 Özlü Tel Elektrod Sertlik Deneyleri ve Makro Analizleri

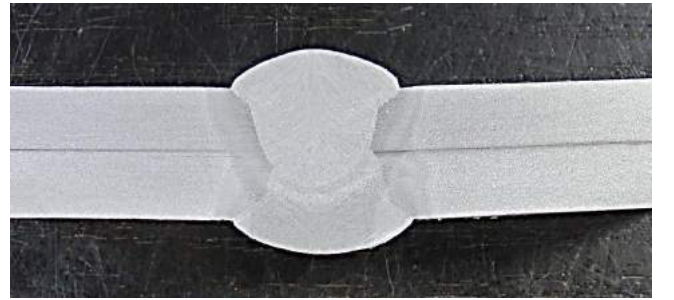
Küt kaynak ağızı formuna sahip kaynak prosedür deneylerinde, her iki tarafta tek pasolu kaynak tekniği (two – run) özlü tel elektrod ile tamamlanan test parçalarının kalınlık aralıklarına göre HV-10 Vickers sertlik analizleri Tablo – 8.a, 8.b ve 8.c’ lerde yer almaktadır. Numuneler üzerinden alınan sertlik ölçüm noktaları Şekil – 4’ de belirtilmiştir. Numunelerin makro analizleri EN ISO 5817 – B [8] standartına göre değerlendirilmiştir. Numunelerin makro analizleri Resim – 1.a, 1.b ve 1.c’ lerde gösterilmiştir.

Tablo – 8.a: Özlü Tel Elektrod / EC1 t:12mm – Sertlik Deneyleri

	A Hattı		B Hattı		C Hattı	
	Sıra No	Sertlik (HV10)	Sıra No	Sertlik (HV10)	Sıra No	Sertlik (HV10)
t: 12 mm / EC1	1	168	1	175	1	170
	2	173	2	177	2	171
	3	175	3	178	3	170
	4	207	4	186	4	180
	5	215	5	191	5	191
	6	219	6	202	6	197
	7	217	7	228	7	222
	8	224	8	223	8	205
	9	217	9	210	9	221
	10	218	10	210	10	201
	11	216	11	209	11	192
	12	204	12	226	12	183
	13	170	13	214	13	169
	14	170	14	218	14	170
	15	170	15	218	15	167



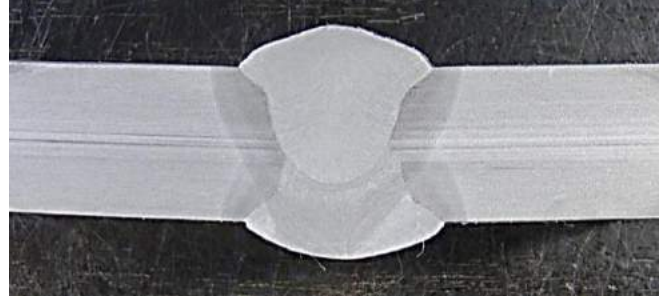
Şekil – 4: Sertlik Ölçüm Noktaları



Resim – 1.a: Özlü Tel Elektrod / EC1 t:12mm – Makro Analizi

Tablo – 8.b: Özlü Tel Elektrod / ECI t:15mm – Sertlik Deneyleri

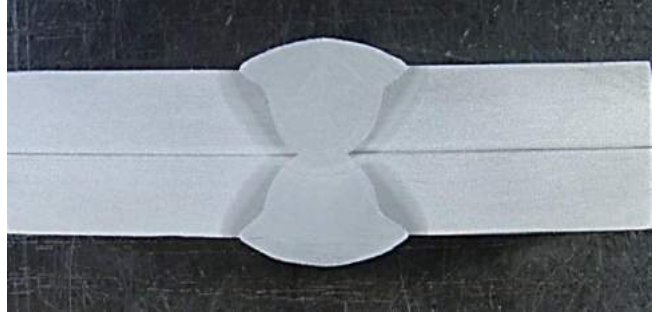
	A Hattı		B Hattı		C Hattı	
	Sıra No	Sertlik (HV10)	Sıra No	Sertlik (HV10)	Sıra No	Sertlik (HV10)
t: 15 mm / ECI	1	168	1	168	1	169
	2	168	2	171	2	168
	3	168	3	184	3	168
	4	196	4	200	4	181
	5	204	5	200	5	188
	6	218	6	197	6	194
	7	212	7	204	7	225
	8	212	8	206	8	211
	9	215	9	210	9	222
	10	216	10	202	10	197
	11	198	11	186	11	190
	12	192	12	181	12	188
	13	173	13	162	13	169
	14	170	14	161	14	172
	15	166	15	164	15	169



Resim – 1.b: Özlü Tel Elektrod / ECI t:15mm – Makro Analizi

Tablo – 8.c: Özlü Tel Elektrod / ECI t:20mm – Sertlik Deneyleri

	A Hattı		B Hattı		C Hattı	
	Sıra No	Sertlik (HV10)	Sıra No	Sertlik (HV10)	Sıra No	Sertlik (HV10)
t: 20 mm / ECI	1	162	1	155	1	161
	2	161	2	155	2	159
	3	164	3	158	3	165
	4	227	4	174	4	226
	5	228	5	190	5	231
	6	235	6	204	6	228
	7	224	7	219	7	218
	8	226	8	218	8	216
	9	230	9	218	9	215
	10	231	10	237	10	227
	11	220	11	216	11	224
	12	209	12	201	12	225
	13	163	13	157	13	162
	14	160	14	156	14	165
	15	158	15	154	15	162



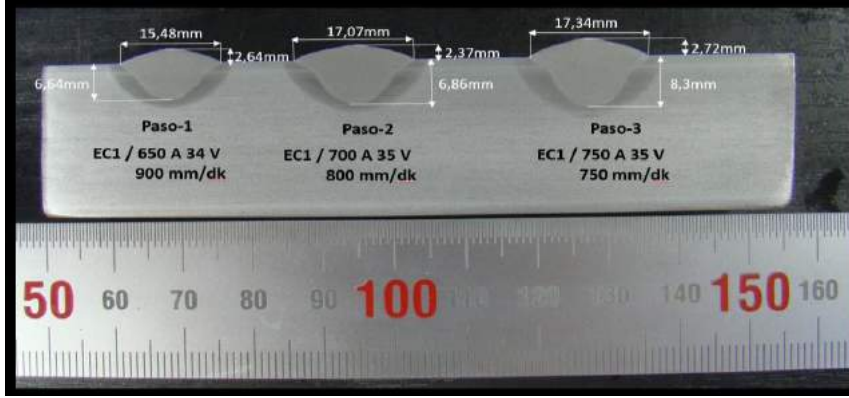
Resim – 1.c: Özlü Tel Elektrod / ECI t:20mm – Makro Analizi

Kaynak öncesi ön tav uygulamadan kaynakları tamamlanan ve ısıl işlemsiz kondisyondaki numunelerin, kaynak metali, ana metal ve ana metalin ısıdan etkilenmiş bölgenin (IEB) sertlik analizlerinin tamamı ANSI / NACE MR 0175 / ISO 15156-1 [9] standardında yer alan maksimum 250 HV sınırının altındadır. Bu neticede, özlü tel elektrod ile her iki tarafta tek pasolu kaynak tekniğinin (two – run), petrol ve

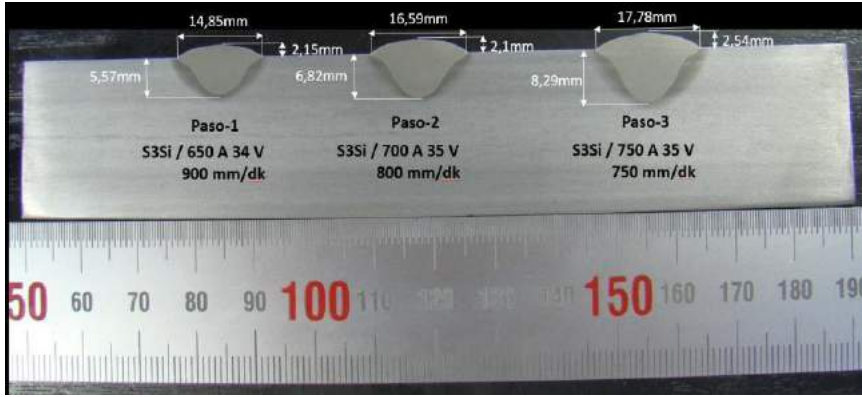
gaz üretiminde H<sub>2</sub>S içeren ortamlarda kullanılan malzemelerin kaynaklı imalat alanlarında uygulanabileceği anlaşılmıştır.

### 5.3.1 Özlü Tel Elektrod ile Masif Tel Elektrodun Makro Analiz Karşılaştırmaları

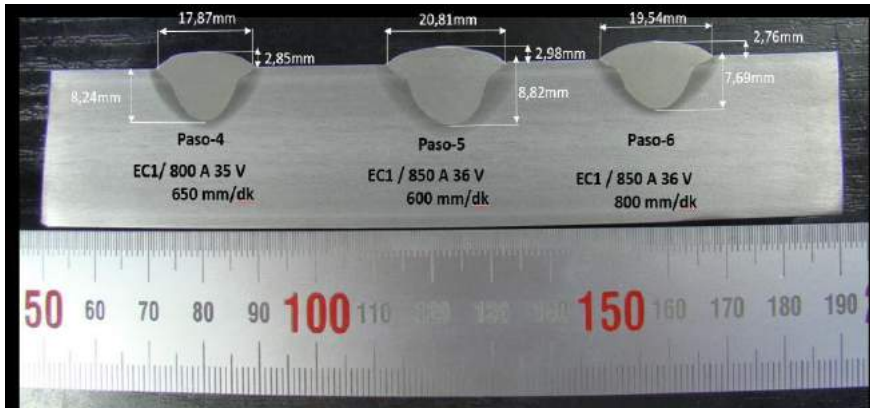
Aynı malzeme kalitesi ve kalınlıklara sahip test parçaları üzerine, aynı elektriksel parametreler ve kaynak hızında, masif tel (S3Si) ve özlü tel (EC1) elektrodlar ile tamamlanan altı farklı kaynak pasonun makro ve mikro analizleri tamamlanmıştır. Özlü tel elektrod ile tamamlanan pasoların makro analizleri Resim –2.a ve 3.a’ da, masif tel elektrod ile tamamlanan pasoların makro analizleri Resim –2.b ve 3.b’ de gösterilmiştir.



Resim – 2.a: Özlü Tel Elektrod / EC1 – Makro Analiz:1

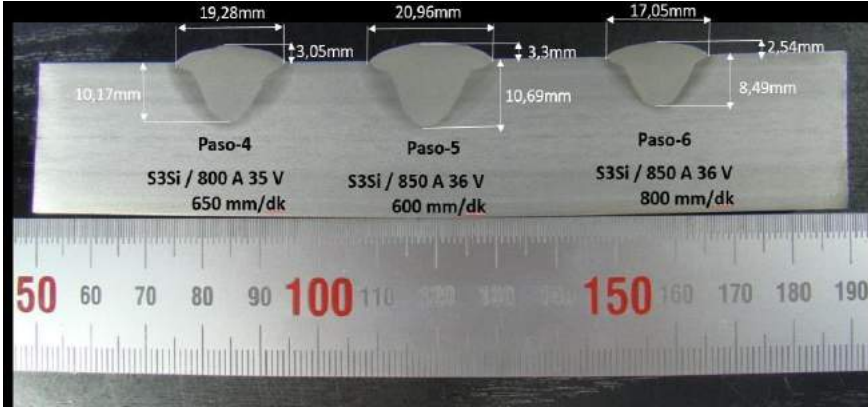


Resim – 2.b: Masif Tel Elektrod / S3Si – Makro Analiz:1



Resim – 3.a: Özlü Tel Elektrod / EC1 – Makro Analiz:2



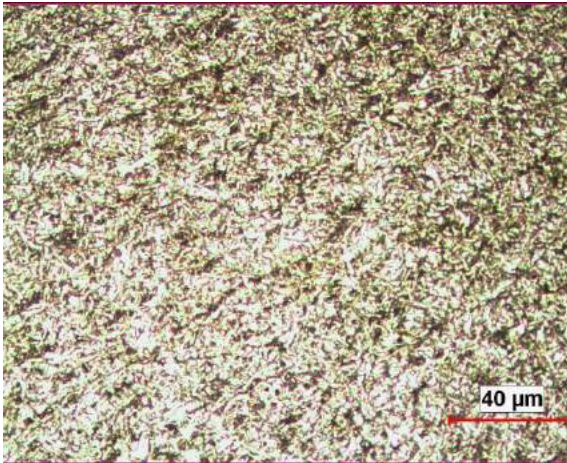


Resim – 3.b: Masif Tel Elektrod / S3Si – Makro Analiz:2

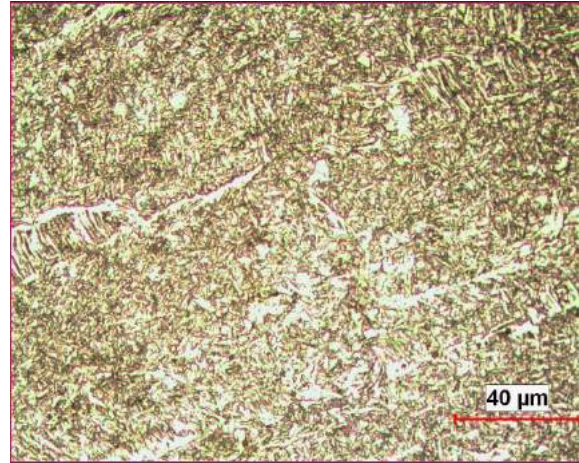
Resim – 2a ve 2b’ de yer alan Makro Analiz:1 karşılaştırmalarında, düşük ısı girdisi ile tamamlanan pasolarda özlü tel elektrod ile tamamlanan kaynakların nüfuziyet derinliklerinin, masif tel elektrod ile tamamlanan kaynaklara göre daha fazla olduğu, ancak Resim – 3a ve 3b’ de yer alan Makro Analiz:2 karşılaştırmalarında daha yüksek ısı girdisi ile tamamlanan pasolarda ise masif tel elektrod ile tamamlanan kaynakların nüfuziyet derinliklerinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, özlü tel elektrod yüksek ısı girdisiyle tamamlanan kaynaklarda, masif tel elektrod ile tamamlanan kaynaklara kıyasla kaynak formları daha geniş, daha sığ bir nüfuziyete sahiptir. Bu durum kaynaklarda istenmeyen aşırı nüfuziyet ve yanma (burn – through) riskini minimize etmektedir.

### 5.3.2 Özlü Tel Elektrod ile Masif Tel Elektrodün Mikro Analiz Karşılaştırmaları

Masif tel (S3Si) ve özlü tel (EC1) elektrodlar ile, makro analiz karşılaştırmaları için tamamlanan en yüksek ısı girdisi (Paso – 5 / 3,06 kJ/mm) ve en düşük ısı girdisine (Paso – 1 / 1,47 kJ/mm) sahip iki farklı kaynak pasosunun 500 kat büyütmede mikro analizleri tamamlanmıştır. Özlü tel elektrod ile tamamlanan pasoların mikro analizleri Resim –4.a ve 5.a’ da, masif tel elektrod ile tamamlanan pasoların mikro analizleri Resim –4.b ve 5.b’ de gösterilmiştir.

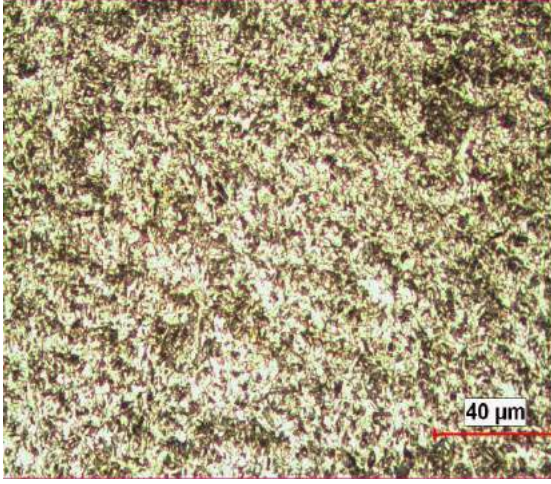


Resim – 4.a: Özlü Tel Elektrod / EC1 – Mikro Analiz:1

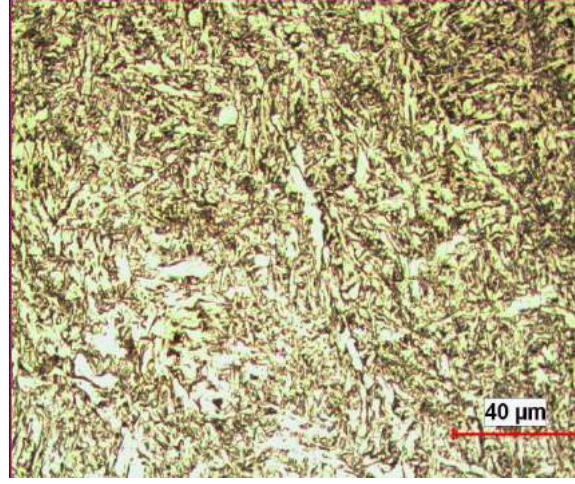


Resim – 4.b: Masif Tel Elektrod / S3Si – Mikro Analiz:1





Resim – 5.a: Özlü Tel Elektrod / EC1 – Mikro Analiz:2



Resim – 5.b: Masif Tel Elektrod / S3Si – Mikro Analiz: 2

Resim – 4a ve 4b, Resim – 5a ve 5b’ lerde görülen mikro analiz karşılaştırmalarında, özlü tozaltı tel elektroduyla tamamlanan farklı parametrelerdeki kaynak metallerinin görece homojen bir metallografik yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir.  $\gamma$ - $\alpha$  dönüşümünün yavaşladığı ve iri taneli ferritik yapı yerine ince bir asiküler ferritik yapının ortaya çıktığı anlaşılmıştır. Masif tel elektrodla ile tamamlanan farklı parametrelerdeki kaynak metallerinde, tane sınırlarının belirginleştiği gösterilmektedir.

## 6. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada büyük ölçüde ekonomik verimlilik sağlayan her iki tarafta tek pasolu kaynak (two – run) tekniğinde özlü tel elektrod kullanımı ile düşük sıcaklıklarda yüksek çentik darbe değerleri elde edilebilirliği çeşitli kaynaklar ile beraber doğrulanmıştır.

Özlü tel elektrodun masif tel elektroda göre kaynak esnasında arkın daha kararlı olması nedeniyle, yüksek amper uygulanabilirliği ile beraber daha yüksek metal yığıma oranları elde edilebildiği, bu durum neticesinde masif tel elektroda göre kaynak kalitesinden ödün vermeden ark süresinde % 40’ a varan azalma sağlandığı ispatlanmıştır. Ayrıca özlü tel elektrodun mikro – alaşımla teknolojisi ile beraber arkın daha kararlı olması nedeniyle kaynak esnasında meydana gelebilecek hacimsel kusurların minimize edilebileceği öngörülmüştür.

Düşük sıcaklıklarda yüksek çentik darbe enerji gerekliliklerine sahip yapısal çelik projelerinde, önemli ölçüde ekonomik verimlilik sağlanması amacıyla özlü tel elektrod ile her iki tarafta tek pasolu kaynak (two – run) tekniği, 20mm kalınlığa kadar olan iş parçalarının kaynaklarında kullanılmaya başlamıştır. Ayrıca %100 hacimsel muayene kontrolü altında olan yüksek basınç altında çalışan kalın cidarlı ekipmanların kaynaklarında hacimsel kusurların minimize edilmesi adına özlü tel elektrod kullanılmaktadır.

## Kaynakça

- [1] GERING E. , 2023, Ekipmana Önemli Bir Yatırım Yapmadan Verimliliği %40 Arttıran Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi Çözümü, Almanya
- [2] MILLER ELECTRIC Mfg. LLC. , 2019, Tozaltı Kaynak Uygulamalarında Özlü Telin Avantajları, ABD
- [3] ENGİNDENİZ, E. , 2018, Özlü Tel Elektrod ile Yüksek Performanslı Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi, Essen
- [4] OĞUZ, B. , 1988, Kaynak Bilimi Sayı 3, Oerlikon Yayını, İstanbul
- [5] TUNCER, E. , 2006, Aşınmaya Dayanıklı Çelikler ile Genel Yapı Çeliğinin Kaynağında Birleştirme Özelliklerinin İncelenmesi, Ankara
- [6] Metalik Malzemeler İçin Kaynak Prosedürlerinin Şartnamesi ve Vasıflandırılması - Kaynak Prosedürü Deneyi - Bölüm 1: Çeliklerin Gaz ve Ark Kaynağı, Nikel ve Nikel Alaşımlarının Ark Kaynağı
- [7] Sıcak Haddelenmiş Yapı Çelikleri - Bölüm 2: Alaşımsız Yapı Çeliklerinin Teknik Teslim Şartları
- [8] Kaynak - Çelik, Nikel, Titanyum ve Bunların Alaşımlarında Ergitme Kaynaklı (Demet Kaynağı Hariç) Birleştirmeler - Kusurlar İçin Kalite Seviyeleri
- [9] Petrol ve Doğal Gaz Sanayileri - Petrol ve Gaz Üretiminde H<sub>2</sub>S İçeren Ortamlarda Kullanılan Malzemeler - Bölüm 1: Çatlama Dayanıklı Malzemelerin Seçilmesi İçin Genel İlkeler

## Özgeçmiş

Metin Efe Tümer, 05.04.1994 de İstanbul’ da doğdu. İlk, orta okul eğitimlerini İstanbul’ da tamamladı. 2012 yılında Gemlik Anadolu Lisesi’ nden mezun oldu. 2012 yılında başladığı Ömer Halisdemir Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’ nü 2017 yılında bitirdi. Üniversite eğitiminin iki yılını University of Technology, Czestochowa, Polonya’ da tamamladı. 2017 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kaynak Teknoloji Merkezi Kaynak Mühendisliği Kursu’nu tamamladı. 2017 – 2019 yılları arasında Beyçelik Gestamp Otomatik A.Ş. ve Franz Kiel Türkiye Üretim ve Dağıtım A.Ş. firmalarında Kaynak Mühendisi pozisyonunda çalışmaya başladı. 2020 yılından beri Çimtaş Çelik İmalat Montaj ve Tesisat A.Ş’ de Kaynak ve Laboratuvar Araştırma Şefi pozisyonunda çalışmaya devam etmektedir.

# YEDEK PARÇA EGZOZ ÜRETİM PROBLEMLERİNE YÖNELİK ROBOTİK KAYNAK SİSTEM ÇÖZÜMÜ

*Aydın ŞİMŞİRLİ, Makina Müh. (B.Sc.)*

*Afşa Robotik Mekatronik Mühendislik Sistemleri San. ve Tic. A.Ş.*

*e-posta: [a.simsirli@afsa.com.tr](mailto:a.simsirli@afsa.com.tr)*

Gazaltı kaynak prosesi, egzoz üretiminde zorunlu ve önemli bir prostestir. Günümüzde, taşıt araç üretimlerine parça tedarik eden firmalarda bu proses robotik olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak konu mevcut taşıt araçlarına yedek parça olarak egzoz tedarigi olduğunda bu konuda faaliyet gösteren firmalar üretimde birtakım zorluklar ile karşılaşmaktadır.

Taşıt aracı üretimlerine parça tedarigi gerçekleştiren firmalarda belirli bir ürüne yönelik bir robot hücresi edinilmiş ve sipariş üzerine üretim yapılmaktadır.

Mevcut araçlara yedek parça için üretim yapıldığında ihtiyaçlar farklı olmaktadır. Sipariş adetleri OEM üretime göre oldukça düşüktür, bu nedenle kaynak öncesi prosesler için yapılan kalıp, aparat yatırımları fizibilite gereği daha düşük bütçeler ile gerçekleşmekte, bu da ürün geometrilerinde değişkenliklere yol açmaktadır. Bu değişkenlikler kaynak prosesi için robot kullanımına engel olmaktadır. Günümüzde yaşanan nitelikli işgücü açığı ve özellikle kaynakçı bulmak ile ilgili zorluklar göz önüne alındığında çok ciddi bir üretim problemi oluşmaktadır.

Bu bildiride, yedek parça olarak egzoz üreten bir firmaya yapılmış robotik gazaltı kaynak hücresi çözümü üzerinde durulacaktır. Bu hücrenin, üretimin gerektirdiği kalite, esneklik, iş güvenliği ve teknolojik ihtiyaçlara nasıl cevap verdiği açıklanacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Robotik gazaltı kaynağı, egzoz üretimi, robotik kaynak hücresi

The arc welding process is a mandatory and important process in exhaust production. Nowadays, this process is widely used robotically in companies that supply parts to vehicle production. However, when it comes to supplying exhaust as spare parts to existing vehicles, companies operating in this field face some difficulties in production.

In companies that supply parts to vehicle production, a robot cell has been acquired for a specific product and production is carried out on order.

The needs are different when producing spare parts for existing vehicles. Order quantities are much lower than OEM production, so mold and apparatus investments for pre-welding processes are realized with lower budgets due to feasibility, which leads to variations in product geometries. These variations prevent the use of robots for the welding process. Considering today's qualified labor shortage and especially the difficulties in finding welders, a very serious production problem arises.

In this paper, we will focus on the robotic gas welding cell solution made for a company that produces exhaust as spare parts. It will be explained how this cell responds to the quality, flexibility, occupational safety and technological needs required by production.

**Key Words:** Robotic arc welding, exhaust production, robotic welding cell

# 1. GİRİŞ

Bahsi geçen robotik kaynak çözümü için geliştirilen hücre, ABD'nin en büyük yedek parça egzoz üretimi yapılan fabrikasına kurulmak üzere sipariş edilmiştir.

Fabrikada yaklaşık 6000 farklı referans egzoz üretilmektedir. Bu fabrikanın ilk gazaltı kaynak robot sistemidir. Üretimin yedek parça üzerine olması nedeni ile parçaların geometrik değişkenliği yüksektir. OEM üretimdeki yeni modeller için olduğu gibi tekrar edebilirliği yüksek geometrik ölçüler mevcut değildir. Çözüm tamamen firmamız tarafından oluşturulmuş ve müşteri tarafından kabul edilmiştir.

Seri üretilen araçlara tedarik edilen egzozlara göre farklı yaklaşımlar ve çözümler mevcuttur. Bunlar şu şekildedir.

- Fikstürler kolay sök-tak yapılacak şekilde tasarlanmıştır.
- Fikstür yerine konulduğunda sisteme ve otomasyona entegrasyonu otomatik çalışan büyük bir soket sistemi ile olmaktadır.
- Tüm adımlar operatörün hata yapmasını engelleyecek şekilde PLC tarafından yönlendirmeli ve kontrollü olarak yapılmaktadır.
- Valfler ve giriş sinyalleri pozisyoner üzerinde bulunan kontrol panosundadır.
- Otomatik bağlantı gerçekleştiğinde fikstür otomatik olarak kontrol edilebilir hale gelmektedir.
- PLC den seçilmiş olan referansa göre tüm modüller bir RFID kimlik kontrolüne tabidir.
- Referans sayısının fazlalığı nedeni ile "Susturucu" gövdeleri 2 servo eksenli bir modül ile tutulmaktadır. Bu modül fikstürün ortasında yer almakta ve 24V DC ile çalışmaktadır. Değişken Susturucu gövde ölçülerine göre sıkma kuvvetine dayalı olarak, gereken referanslama sağlanmaktadır. (Proses gereği susturucu boylarında ölçüsel farklılıklar mevcuttur)
- Ortada sabit bulunan Servo Kutu haricinde, her referans için giriş borusu ve çıkış borusu fikstürleri bulunmaktadır.
- Çevrim başında önce ölçümler alınmakta, sonra gerekli hesaplamalar yapılmaktadır. Ardından kaynak işlemi yapılmaktadır.

Sistem 2 yükleme masalı olarak tasarlanmıştır. Robot bir masada kaynak yaparken diğer masada yükleme boşaltma işlemi gerçekleştirilmektedir.

Yükleme masalarında kaynatmak için konulan fikstürler, susturucu ve borular arasında birleşmeyi sağlayacak dairesel kaynakların atılabilmesi için robot ile senkron bir çalışacak dış eksenler ile döndürülmektedir.

Sistemin otomasyonu bir PLC tarafından yönetilmektedir.

Sistemde ayrıca uzaktan erişim amaçlı olarak bir endüstriyel PC bulunmaktadır. Herhangi bir sorun durumunda bu PC ye bağlanmak sureti ile sistem üzerindeki Robot, Kaynak Makinası, PLC ve diğer tüm cihazlara bağlanabilir ve kontrol edilebilir.

Sistemde 3 adet sabit kamera mevcuttur. İzin verildiğinde prosesi uzaktan izlenebilir.

Torch bakımı, kontak meme değişimi için arka bölgeden servis yapabilmek amaçlı güvenlik donanımlı olarak bir pencere mevcuttur.

Yükleme bölgelerinin güvenlikleri tamamen ayrı takip edilmektedir. Bu şekilde herhangi bir bölge komple bakıma alınsa bile diğer tarafta üretim devam edebilir olacaktır.

Güvenlik izleme amacı ile Işık Perdeleri ve alan tarayıcı her iki bölgeye de konulmuştur. Ayrıca değişik yerlerde acil stop butonu bulunmaktadır.

Perdeler beklenen yüksek performans gereği nedeni ile servo motor ile çalışmaktadır.

Hücrenin her iki yanında gerekli takımların, sarf ve yedek parçaların konulabilmesi için dahili dolaplar vardır.

Panolar ve tüm elektrifikasyon uluslararası normlarda kabul görecektir şekilde yapılmıştır. Kablolamanın nerede ise tamamı M12 standart kablolar ile yapılmıştır.

Hücre konteynıra tek parça olarak konulup, az bir aksesuar eklemelerin yerinde yapılması ile hizmete girecek şekilde tasarlanmıştır.

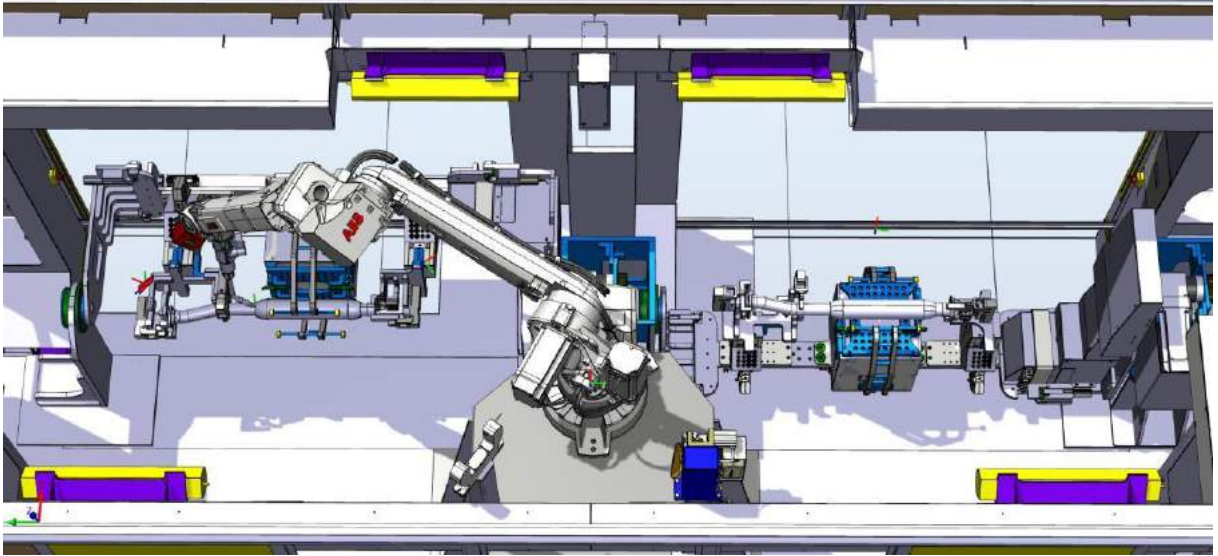


şekil 1-Hücrenin önden görünümü



## 2. HÜCRENİN TASARIM VE KONTRÜKSİYON AŞAMASI

Günümüzde robotlar otomotiv parçalarının kaynağında yaygın olarak kullanılmaktadır, ancak bu mevcut ihtiyaçta öncelikli olarak göz önüne alınması gereken husus, yapılacak hücrenin talep edilen tüm parçaları kaynatabilecek olmasıdır. Bu nedenle tüm parçalar için gereken simülasyon ve erişim çalışması yapılması gerekmiştir. Fikstürler olası hücrede operatörün ergonomik olarak parçaları yükleyebileceği bir yükseklik ve derinlikte konumlandırılmıştır. Yapılan erişim çalışmaları ile robotun yükseklik ve konumu belirlendikten sonra hücrenin konstrüksiyonu tasarlanmıştır. Tasarım süreci devam ederken iteratif olarak hücre konstrüksiyonu her şekil değişikliğine uğradığında, erişimlerin sorun yaratmadığı tekrar kontrol edilmiştir.

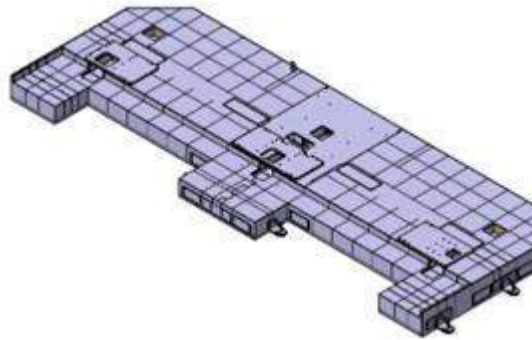


Şekil 2-Simulasyon ve erişim çalışmalarından bir görünüm

Hücrenin tasarımında genel erişim çalışmalarının oluşturulmasından sonra güvenlik ve fonksiyonel diğer detaylar oluşturulmuştur.

### 2.1 Hücre Şasesi

Hücre şasesi üzerine gelecek tüm ekipmanları bir arada taşıyacak ve forklift ile taşınabilecek şekilde gerekli mukavemette tasarlanmıştır.

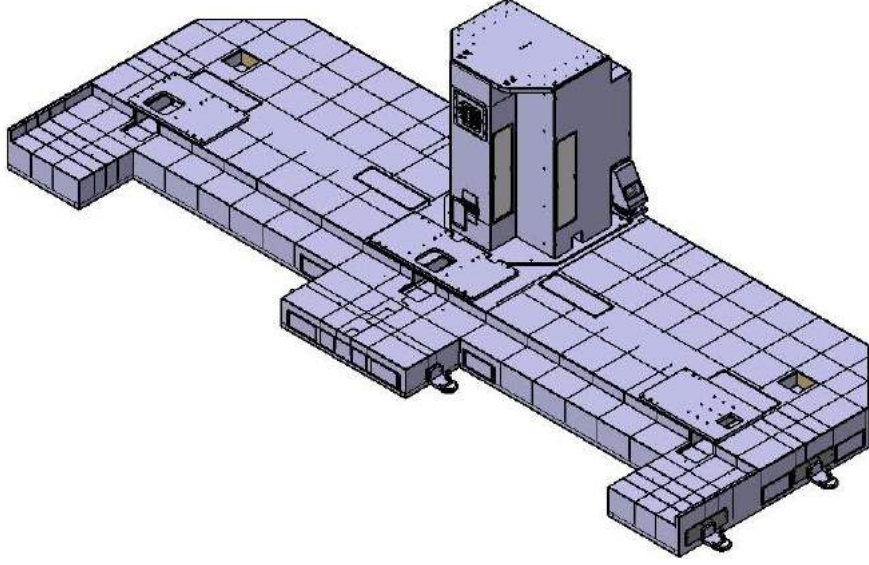


Şekil 3-Hücre Şasesi



## 2.2 Robot Bazası

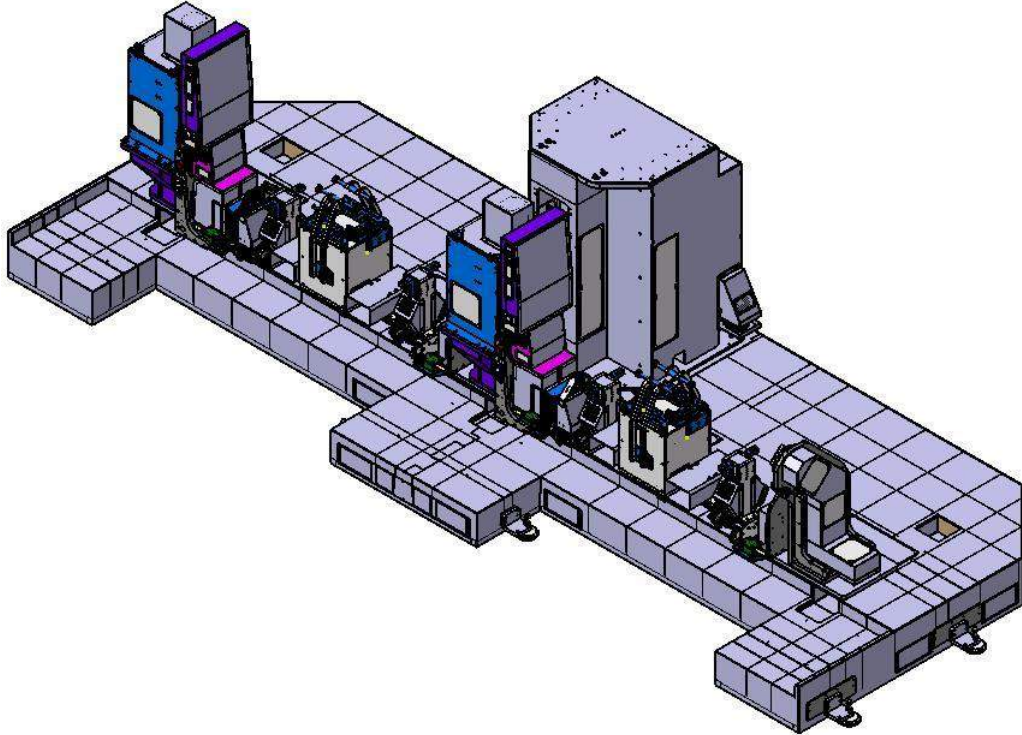
Robot bazası, erişim çalışmaları sonucunda robotun yerleştirilmesi gereken yüksekliği sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 4-Hücre Şasesi üzerine yerleştirilmiş olan robot bazası

## 2.3 Pozisyonerler ve Fikstürlerin Yerleşimi

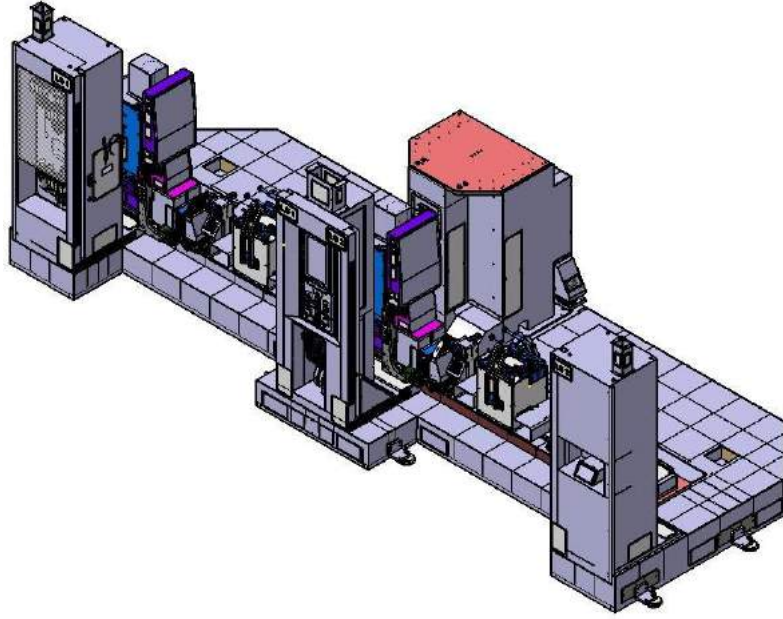
Pozisyoner ve fikstürler, ergonomi gerekleri ve erişim çalışmaları sonucunda olması gereken konumu sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 5-Hücre Şasesi üzerine yerleştirilmiş olan pozisyoner ve fikstür konumları

## 2.4 Ön Konsolların Yerleşimi ve Operatör Yükleme Bölgelerinin Oluşturulması

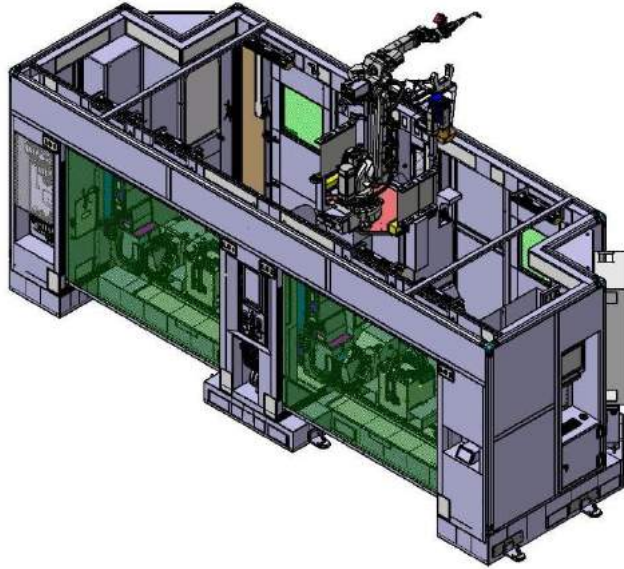
Operatörün çalışırken güvenliğini ve ihtiyaç duyacağı kontrolleri sağlayacak olan ekipmanlar için gerekli konsollar tasarlanmıştır.



Şekil 6-Ön Konsollar ve Parça Yükleme Bölgeleri

## 2.5 Hücre Duvarları ve Diğer Detayların Oluşturulması

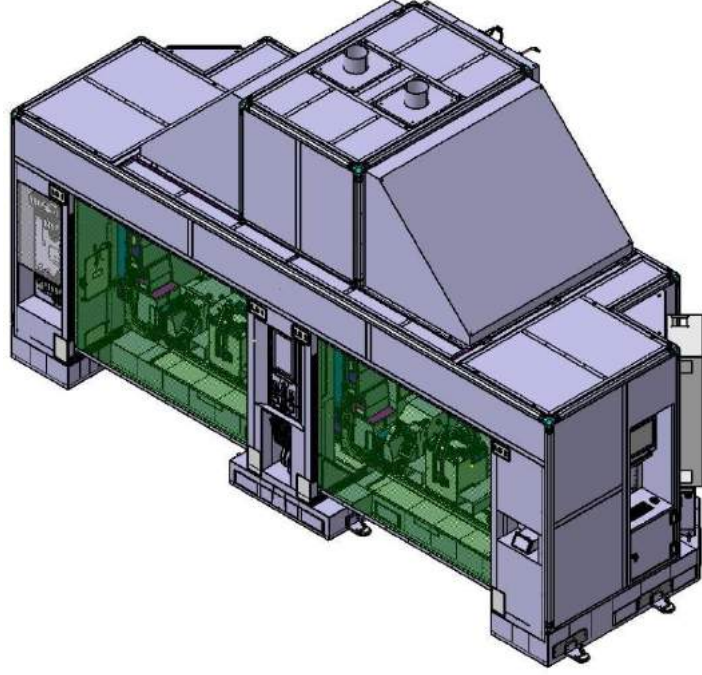
İş güvenliğini sağlayacak şekilde hareketli aksamın çevresi duvar panelleri, servis erişim kapıları ile kapatılmıştır. Gerekli aksesuarlar ve güvenlik ekipmanları konumlandırılmıştır.



Şekil 7- Hücre duvarları ve diğer aksesuarlar

## 2.6 Hücre Tavani ve Bacaların Oluşturulması

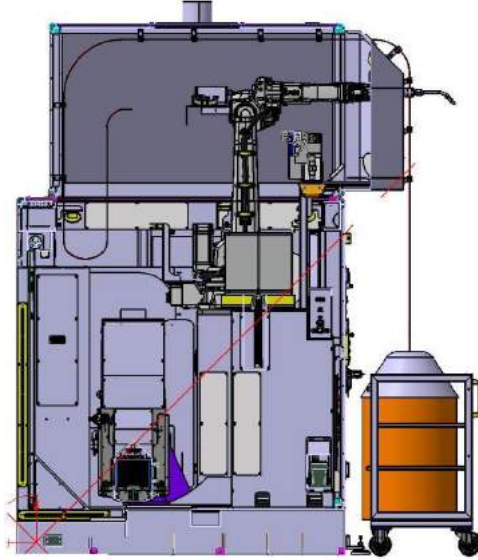
Robot hareketlerine izin verecek ve duman emişini sağlayacak hücre tavani ve bacalar oluşturulmuştur.



Şekil 8- Hücre tavanı ve duman emiş bacaları

## 2.7 Tel Besleme Yolunun Oluşturulması

Hücre içerisinde robot yerleşimi, kontak meme ve nozul değiştirme servisleri için ancak arka cephede yer bulunan servis penceresine erişim için arkaya bakacak şekilde oluşturulmuştur. Hücre arkasına konulacak varil tipi tel sarımı nedeni ile tel besleme yolu uzun bir rotadan gelmektedir.

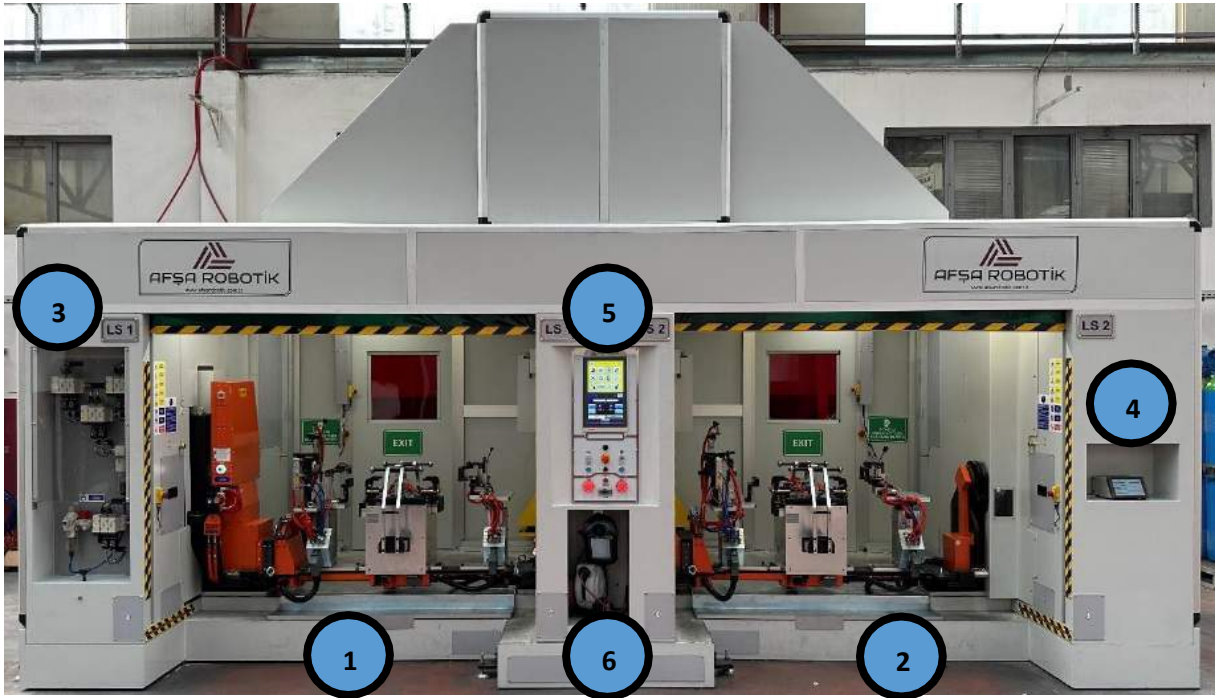


Şekil 9- Tel besleme yolu



### 3. HÜCRENİN DETAY BİLEŞENLERİ

- 1- Parça yükleme bölgesi 1
- 2- Parça yükleme bölgesi 2  
Parça yükleme bölgelerinde operatör yükleme ve boşaltma işlemini gerçekleştirmektedir. Operatör bir bölgede çalışmakta iken robot diğer bölgede kaynak yapmakta ve birbirlerini durdurmadan ya da beklemeden üretim devam etmektedir.
- 3- Basınçlı hava güvenlik paneli  
Hücrenin içerisinde bulunan farklı bölgelerin basınçlı hava güvenliği ayrı ayrı yönetilmektedir. Parça yükleme 1 ve 2, robot bakım bölgesi, genel olmak üzere 4 farklı bölge için yönetimi mevcuttur.
- 4- Kaynak makinası arayüzü  
Kaynak makinasının parametre ayarları bu ekran üzerinden değiştirilmekte ve kaydedilmektedir.
- 5- Operatör Kumanda Paneli  
Operatörün üretim sırasında kullanması gereken buton ve ekran arayüzü buradadır. Tüm işlem başlatma, durdurma, gerekli ürün seçimi ve konfigürasyonlar buradan yönetilmektedir.
- 6- Robot el kumanda ünitesi ve yuvası  
Robotun manuel olarak hareket ettirilmesi ve kaynak programlarının yazıldığı el el kumanda ünitesi hücrenin ortada bulunan gözünde saklanmaktadır. İhtiyaç duyulduğunda kolaylıkla alınıp kullanılmaktadır.



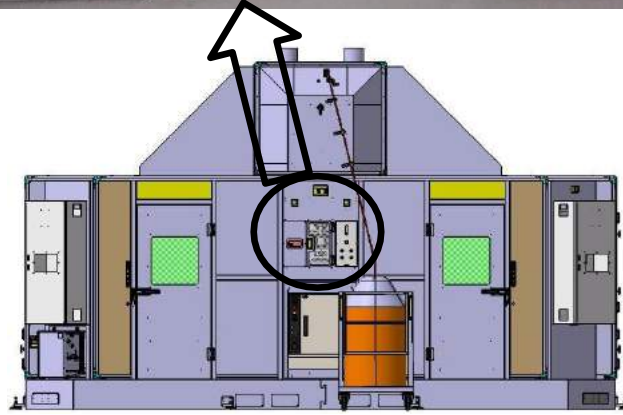
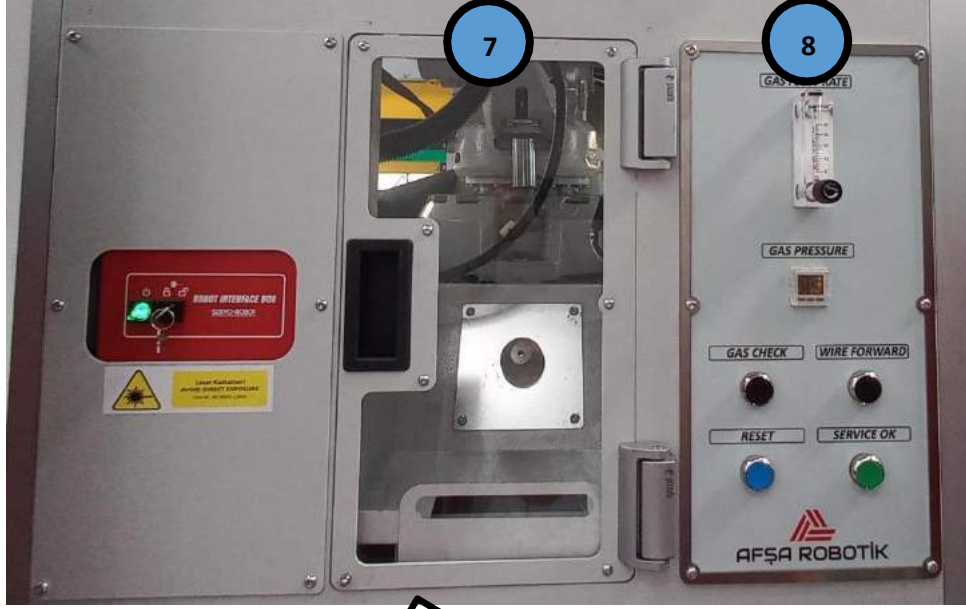
Şekil 10- Hücre detayları – 1

7- Torch Servis Penceresi

Robotun nozul ve kontak meme değişimi gerektiğinde robot bu pencereye gelmektedir. Bu sayede ilgili işlemlerin yapılması için hücrenin içine girip yüksekte bulunan robotun yanına çıkmaya gerek kalmadan işlemler güvenli bir şekilde gerçekleştirilmektedir.

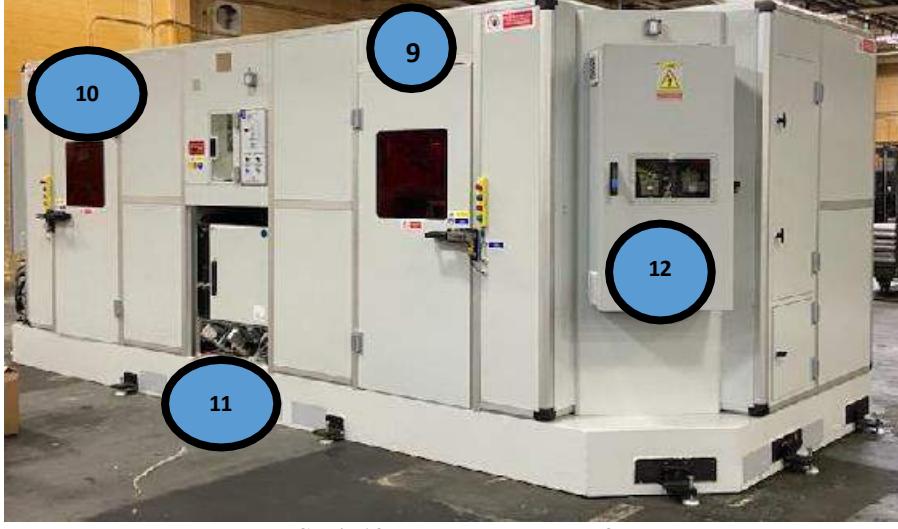
8- Torch Servis Kumanda Paneli

Torch servis penceresinde gerçekleştirilen işlemler ve gaz debisi ayarları için kullanılacak bir panel mevcuttur.



Şekil 11- Hücre detayları – 2

- 9- Servis kapısı 1
- 10- Servis kapısı 2  
Yükleme bölgelerinde bir çalışma yapılacağı zaman, sistemden izin alarak güvenli bir şekilde içeri girmek amaçlı kapılar mevcuttur.
- 11- Robot Kontrol Kabini  
Robotun sürücü ve bilgisayarlarını barındıran kendine ait kontrol kabini hacimden kazanmak amaçlı olarak robot bazasının altına denk gelen bölgeye yerleştirilmiştir.
- 12- Enerji dağıtım panosu  
Sistemin ana enerjisinin verildiği ve ekipmanların güç dağıtımının yapıldığı panodur.
- 13- Uzaktan erişim PC si  
Herhangi bir sorun durumunda bu PC ye bağlanmak sureti ile sistem üzerindeki Robot, Kaynak Makinası, PLC ve diğer tüm cihazlara bağlanabilir ve kontrol edilebilir.



Şekil 12- Hücre detayları - 3



Şekil 13- Hücre detayları - 4

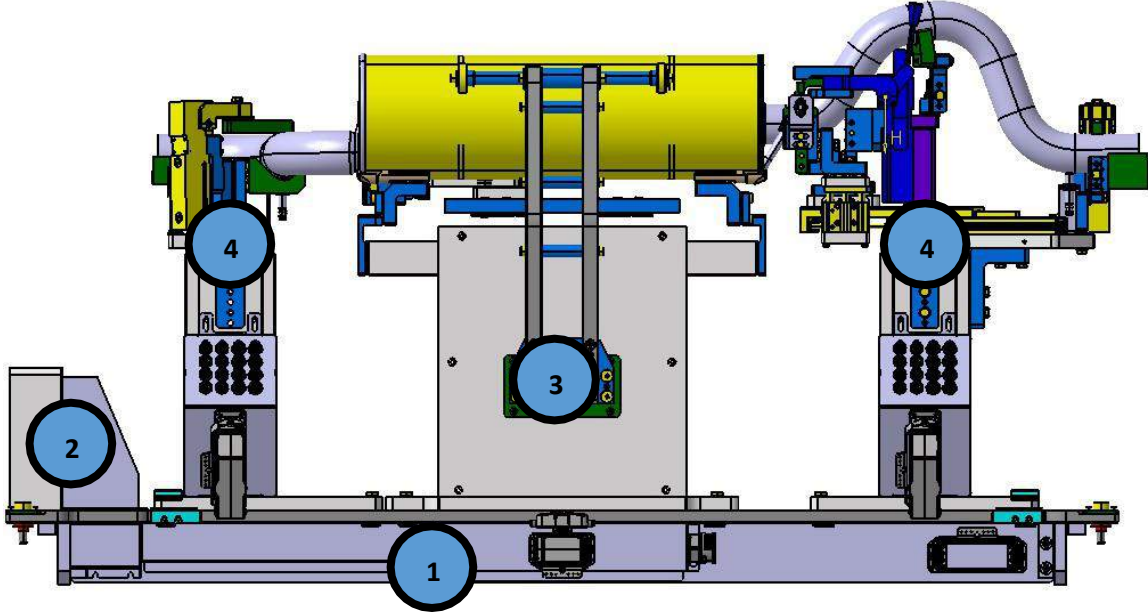


## 4. FIKSTÜRLER

Birçok referansın aynı sistem üzerinde üretilmesi gerektiği için esnek ve maliyeti uygun bir yapı kurulması gerekmektedir.

Bu nedenle fikstürler genel olarak Şekil 14 de verildiği gibi yapılandırılmıştır.

- 1- Fikstür ana karkası (Tüm fikstür yapısının kendi üzerinde kurulmasını sağlayan gerekli kablo ve hortum bağlantılarına sahip bir karkas oluşturulmuştur.)
- 2- Soket Grubu (Fikstür sisteme bağlandığında gerekli kontrol bağlantıları bu soket üzerinden gerçekleştirilmektedir.)
- 3- Servo kutu (Tüm susturucu gruplarının tutulması ihtiyacını karşılamak üzere X ve Y koordinatlarında genişleyip, daralan 2 eksenli bir servo kutu tasarlanmıştır.)
- 4- Egzoz Giriş – Çıkış borusu grupları



Şekil 14- Örnek Fikstür Görünüm

### 4.1 Fikstür Ana Karkası

Şekil 15’de gösterildiği gibi, üzerinde kontrol soket grubunu barındıracak şekilde diğer grupların bağlanmasını sağlayan fikstür ana karkasları tasarlanmış ve kullanılmıştır.



Şekil 15- Fikstür Ana Karkası

#### 4.2 Soket Grubu

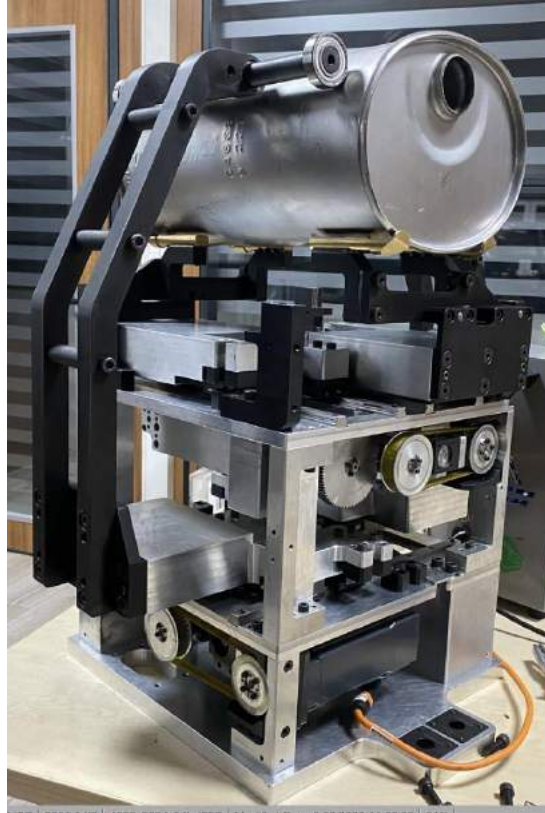
Şekil 16'da gösterildiği gibi, fikstürün sistem üzerine bağlandığında ihtiyaç duyduğu pnömatik ve sinyalizasyon bağlantıları bu soket yapısı ile pratik olarak gerçekleştirilmektedir.



Şekil 16- Soket Grubu

#### 4.3 Servo Kutu

Tüm susturucu gruplarının tutulması ihtiyacını karşılamak üzere X ve Y koordinatlarında genişleyip, daralan 2 eksenli bir servo kutu tasarlanmıştır.



Şekil 17- Servo Kutu

#### 4.4 Egzoz Giriş-Çıkış Borusu Grupları

Kaynatılacak her bir referans için ayrı Egzoz Giriş – Çıkış borusu grupları tasarlanmış ve üretilmiştir.

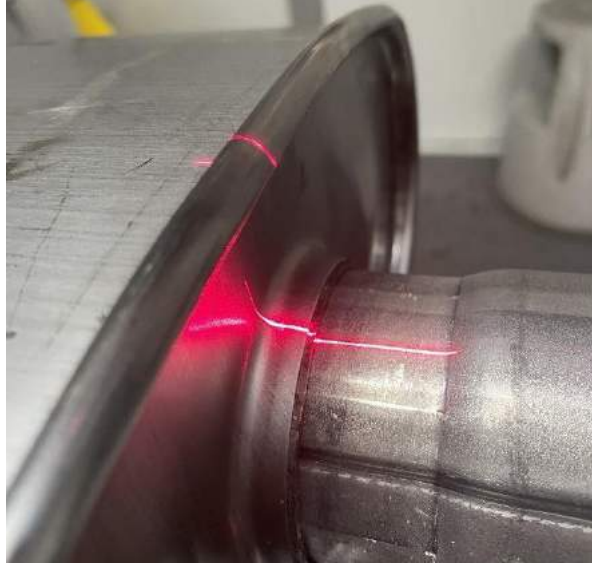


Şekil 18- Egzoz Giriş – Çıkış borusu grupları grupları

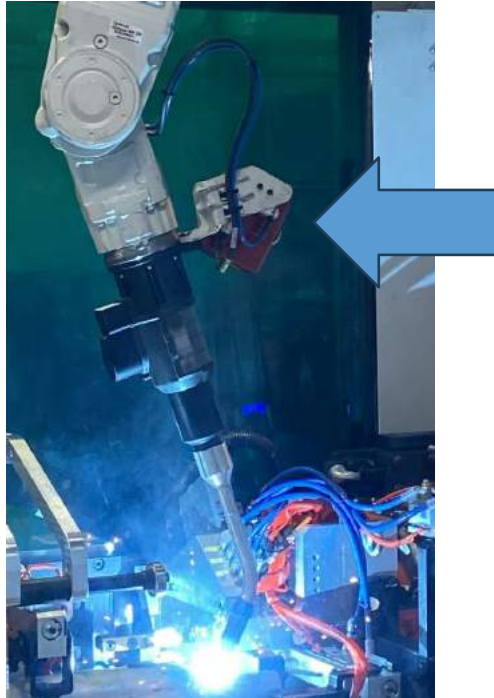


## 5. PROFİL SENSÖRÜ

Susturucu parçaların boylarındaki ve boru giriş ağzındaki çıkıntı farklılıkları nedeni ile pozisyon öğretme metodu ile kaynak programı yazma tekniği başarılı olamamaktadır. Bu nedenle parça geometrilerini ölçen ve robota farkları ileten bir sensör yapısı kurmak zorunlu olmuştur. Şekilde profil sensörü tarafından gönderilen çizgisel lazer tarama şekli verilmiştir. Sensörün kendine ait yazılım üzerinde hangi noktaya kaynak atmak istendiği seçilmekte ve sensör de bu tanıma göre gerekli koordinatı robota iletmektedir.



Şekil 19- Profil Sensörü Tarama Görüntüsü



Şekil 20- Profil Sensörü Robot üzerinde görülmektedir.

## 6. SONUÇ

Gazaltı kaynak prosesinin robot ile gerçekleştirilmesi son yıllarda rutin bir uygulama olmakla beraber bahsi geçen bu uygulamada gerek kaynatılacak referans sayısının fazla olması, gerek ölçüsel bozukluklar ve ilave esneklik ihtiyaçları konuya daha farklı bir yaklaşım ve pratik geliştirilmesini zorunlu kılmıştır.

Bahsi geçen sistem halihazırda ihraç edilmiş yerinde kurulmuş ve üretime başlamış durumdadır.

---

# HİDROJEN KARIŞIMLI DOĞAL GAZ İLETİM HATTINDA KULLANILACAK BORU ÜRETİMİNDE (SOUR SERVICE) API 5L X65MS PSL2 ÇELİK KALİTESİ İÇİN TAMİR KAYNAĞI TESTLERİNİN İNCELENMESİ

Mesut BİÇEN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Makina Mühendisi (M.Sc.), Kaynak Mühendisi  
ÜMRAN Çelik Boru Sanayii A.Ş., Akçakoca / Düzce, Türkiye  
E-Posta: [mbicen@umran.com](mailto:mbicen@umran.com)

## ÖZET

*Bu çalışmada, API 5L X65MS PSL2 sour service çelik kalitesinin üç farklı elektrod (E7018-E8018-E9018) ile elle ark kaynağı yöntemi kullanılarak yapılan tamir kaynağı prosedür kalifikasyon testlerinin incelenmesi yapılacaktır.*

*Sour service çelik kalitesi, belirli oranda hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) veya sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) içeren maddelere karşı dayanıklı olduğu ve API 5L Annex H'da doğal gaz borular üretimi için yapılması zorunlu testlere ek bazı testler ve test kabul kriterlerinin daraltıldığı görünmektedir. API 5L X65MS PSL2 sour servis çelik kalitesi için üç farklı elektrod ile tamir kaynağı kalifikasyon testleri API 5L Annex H ve Annex D'ye göre gerçekleştirilmiştir. Kabul kriterlerine göre değerlendirme yapıp sonuçlar ortaya konulmuş ve sonuçlar birbiri içerisinde kıyaslanmıştır.*

*Değerlendirme sürecinde, Ümran Çelik Boru bünyesinde bulunan mekanik test laboratuvarında test sonuçları incelenmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Sour Service, API 5L X65MS, Tamir Kaynağı, Tahribatlı Testleri

## ABSTRACT

*The aim of this study, the repair welding procedure qualification tests of API 5L X65MS PSL2 sour service steel quality using manual arc welding method with three different electrodes (E7018-E8018-E9018) will be examined.*

*Sour service steel quality seems to be resistant to substances containing a certain amount of hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S) or sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), and some tests and test acceptance criteria in addition to the mandatory tests for the production of natural gas pipes in API 5L Annex H are narrowed. Repair welding qualification tests with three different electrodes for API 5L X65MS PSL2 sour service steel grade were performed according to API 5L Annex H and Annex D. Evaluation was made according to the acceptance criteria, the results were presented and the results were compared with each other.*

*During the evaluation process, the test results were examined in the mechanical test laboratory of Ümran Çelik Boru.*

**Keywords:** Sour Service, API 5L X65MS, Repair Welding, Destructive Tests



---

## 1. GİRİŞ

Bilim insanları, araştırmacılar, sanayiciler doğal gazı hidrojenle zenginleştirmenin, doğal gazı yüksek oranda hidrojenle karıştırmanın ve doğal gazı daha çevre dostu yapmanın yollarını arıyor.

### **Dünya bu konuda neler yapıyor?**

Avrupa Birliği hidrojen yol haritasında, 2030 yılına kadar doğal gaz içine hacimsel olarak %7 hidrojenin karıştırılarak uygulamada kullanılabileceği vurgulanıyor.

Almanya’da, Fransa’da ve Birleşik Krallıkta üniversite ve sanayi işbirlikleri kapsamında doğal gaz hatlarına %20’ye kadar hidrojen karıştırma çalışmalarının 2019’dan beri devam ettiği ifade ediliyor.

AB’de birçok ülkede, Japonya’da, ABD’de ve dünyanın birçok ülkesinde doğal gazı belirli oranlarda hidrojenle karıştırma çalışmalarının mevcut olduğuna ve devam ettiğine işaret ediliyor.

Bazı Avrupa ülkeleri, doğal gazı hidrojenle karıştırarak hem karbon emisyonlarını azaltmak hem doğal gazı hidrojenle zenginleştirmek hem de doğal gazı değer katmak için 2030 sonrası politikalarını, stratejilerini ve projeksiyonlarını revize ettiği iddiaları fazlaca konuşuluyor [1].

### **Türkiye’de bu konuda neler yapılıyor?**

2020 yılında Bakanlıkta düzenlenen “Enerjide Arama Buluşmaları: Hidrojen” konulu çalıştayda “Türkiye’de en geç 2021 sonunda dağıtım hatlarına ilk hidrojen girişinin olmasını hedefliyoruz. Biz de bu konuda ilk EPDK projesini geçen sene verdik ve doğal gaz sektörümüz çalışmalarına başladı. İlk başta bu deneysel ve çok az bir miktar olabilir ama önemli olan sistemin başarıyla çalışması” şeklinde önemli bir hedefi ortaya koymuştu [1].

Bu hedef doğrultusunda, Gazbir-Gazmer, Aksa Doğal Gaz, Enerya Doğal Gaz ve Yıldız Teknik Üniversitesi işbirliği ile EPDK’nın Ar- Ge projeleri kapsamında, Konya şehrinde Türkiye’nin ilk Power to Gas projesi 2020 yılının başında başlamıştır ve çalışmalarına devam etmektedir [2].

### **Doğal Gaz Boru Üretiminde Nasıl Değişiklikler Bizi Bekliyor?**

Doğal gaz boru üretim standardı API 5L standardına göre, hidrojen katkılı doğal gaz boru üretimlerinde (sour service) ise API 5L Annex H’a göre imal edilmektedir [3].

API 5L Annex H’ta; API 5L standardına ek olarak zorunlu NACE TM0284 standardına göre HIC (Hydrogen Induced Cracking) testi ve kararlaştırıldığında NACE TM0177 standardına göre SSC (Sulfide Stress Cracking) testi yapılması gerekmektedir. Bu testlerin genel amacı malzeme ve kaynaklı numunelerin hidrojen-sülfür ile direkt teması sonrası çatlak oluşumu incelenmesidir [4] [5].

API 5L Annex H’ta; API 5L standardına göre sertlik testi kabul kriterinin daraltıldığı görülmektedir. Bu kapsamda boru üzerinde yapılan tamir kaynaklarında seçilen elektrodun önemli bir yeri olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada API 5L X65MS çelik kalitesindeki borunun tamir kaynağı için üç farklı elektrod ile tamiri yapıp test sonuçları irdelenmiştir.

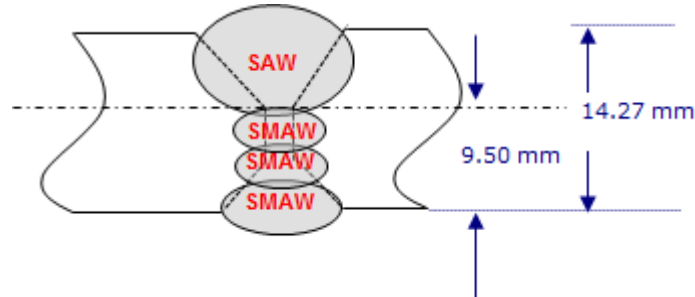
## 2. UYGULAMA METODU VE TESTLER

Elle ark kaynağı ile boru üretiminde tamir işlemlerinde kullanılmaktadır. Hidrojen katkılı doğal gaz borularının üretiminde tamir kaynakları prosedürü için API 5L Annex D standardı olup yapılan tamir prosedür kalifikasyon testleri;

- Kaynak Çekme Testi (Enine),
- Çentik Darbe Testi (-10°C),
- Nick-Break Testi,
- Bükme Testi,
- Makrografik Muayene
- Sertlik Testi

kabul kriterleri için API 5L Annex H esas alınmıştır [2].

### 2.1. Tamir Kaynağı için Kaynak Prosedür Şartnamesi



Şekil-1: Tamir Kaynağı için Birleşim ve Kaynak Sırası Detayı

Tablo-1: Tamir Kaynağı için Ön Isıtma

Ön Isıtma	Sıcaklık
Ön Isıtma Sıcaklığı (min.)	100°C
Pasolar arası Sıcaklık (min.)	250°C

Tablo-2: Tamir Kaynağı için Elektriksel Karakteristik

Paso No	Proses	Dolgu Metali			Akım		Voltaj (V)	Hız (cm/dk)	Isı Girdisi (Kj/cm)	Notlar	
		Sınıfı	Çap (mm)	Polarite	Amper (A)						
1	SMAW	E7018	E8018	E9018	3,20	DC (+)	140	26,0	30,0	7,28	Kök
2	SMAW				4,00	DC (+)	190	27,0	26,0	11,84	Dolgu
3	SMAW				4,00	DC (+)	190	28,0	20,0	15,96	Kapak

Tablo-3: Tamir Kaynağı için Kullanılan Elektrod Bilgileri

Dolgu Metali Sınıfı	Elektrod Çapı (mm)
E 9018 - G H4	3,20
	4,00
E 8018 - G H4	3,20
	4,00
E 7018-1 H4 R	3,20
	4,00

## 2.2 Tahribatlı Muayene Testleri

### 2.2.1 Kaynak Çekme Testi (Enine)

Tamir kaynağı denemesinde her elektrod için 2 kaynaklı çekme test numunesi alınmış ve API 5L Annex H standardına göre testi yapıp değerlendirilmiştir.

### 2.2.2 Çentik Darbe Testi (-10°C)

Tamir kaynağı denemesinde her elektrod için 1 set (3 numune) kaynak, 1 set (3 numune) haz bölgesinden çentik darbe test numunesi alınmış ve -10°C testi yapıp, API 5L standardına göre değerlendirilmiştir.

### 2.2.3 Nick-break testi

Tamir kaynağı denemesinde her elektrod için 2 adet numune kaynak bölgesinden 3,17 mm çentik açıp çekme testi gerçekleştirilmiş ve API 5L standardına göre değerlendirilmiştir.

### 2.2.4 Bükme testi

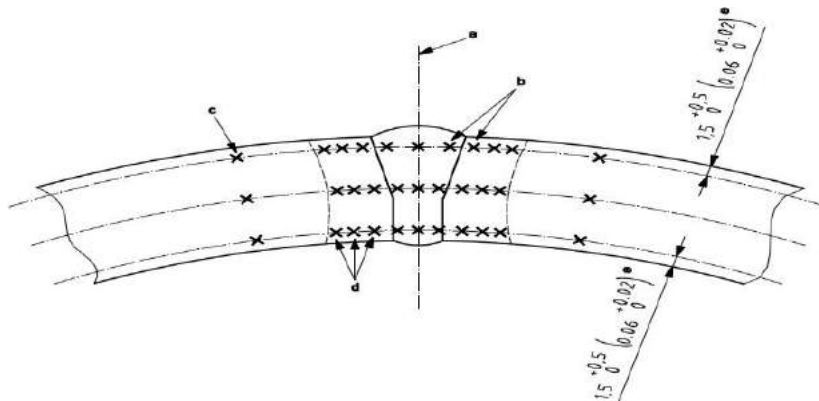
Tamir kaynağı denemesinde her elektrod için 2 adet numune kaynak bölgesinden alınmış ve API 5L standardına göre değerlendirilmiştir.

### 2.2.5 Makrografik Muayene

Tamir kaynağı denemesinde her elektrod için 1 adet numune alınmıştır. Kaynak bölgesindeki nüfuziyet (tam nüfuziyet), eksen kaçıklığı (en fazla 3 mm), düzlemsel kaçıklık (en fazla 1,5 mm), iç kaynak yüksekliği (en fazla 3,5 mm) ve dış kaynak yüksekliği (en fazla 4,5 mm) ölçülmüş ve API 5L standardına göre değerlendirilmiştir.

### 2.2.6 Sertlik testi

Makro yapı incelemeler sonucunda sertlik testi yapılmış ve API 5L standardına göre 3 çizgi halinde, malzeme, ITAB ve kaynak bölgelerinin sertlik değeri alınmıştır. API 5L Annex H standardına göre maximum 250 HV10 olması gerekmektedir.



Şekil-2: API 5L Annex H standardına göre SAW boruların sertlik bölgeleri [2]

### 3. İNCELEME VE TEST SONUÇLARI

E7018, E8018 ve E9018 elektrod ile elle ark kaynağı yapılan API 5L X65MS PSL2 çelik kalitesindeki kaynağın testleri gerçekleştirilmiş ve test sonuçları aşağıda belirtilmiştir.

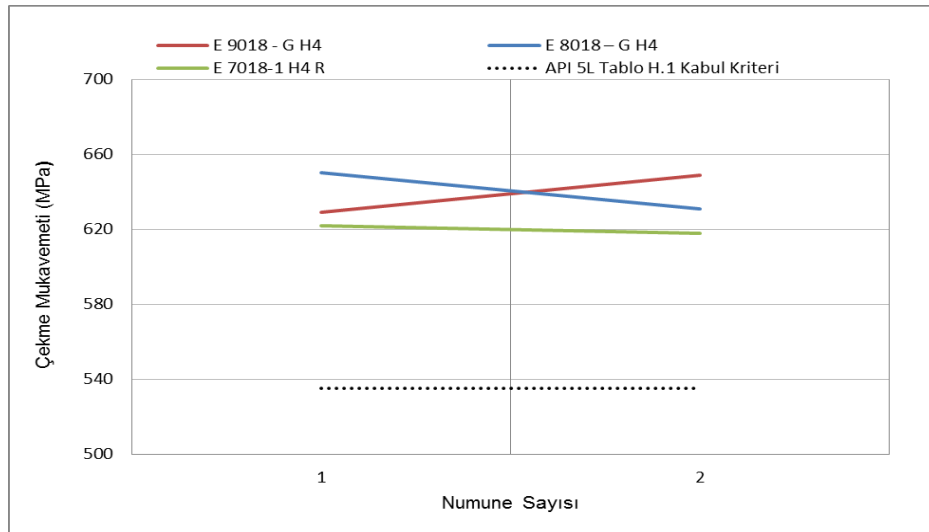
**Tablo-4: API 5L X65MS PSL2 Malzeme Kimyasal Kompozisyon Test Sonucu**

%	C	Si	Mn	P	S	V	Nb	Ti	Al	N	Cu	Ni
Kabul Kriteri API 5L Tablo H.1 (en fazla)	0,10	0,45	1,60	0,020	0,002	0,10	0,08	0,06	0,06	0,012	0,35	0,30
Test Sonucu	0,03	0,34	1,50	0,004	0,001	0,01	0,04	0,01	0,04	0,001	0,01	0,02

%	Cr	Mo	Nb+V+Ti	CEpcm
Kabul Kriteri API 5L Tablo H.1 (en fazla)	0,30	0,15	0,15	0,22
Test Sonucu	0,17	0,01	0,06	0,12

**Tablo-5: Kaynaklı Çekme Test Sonucu**

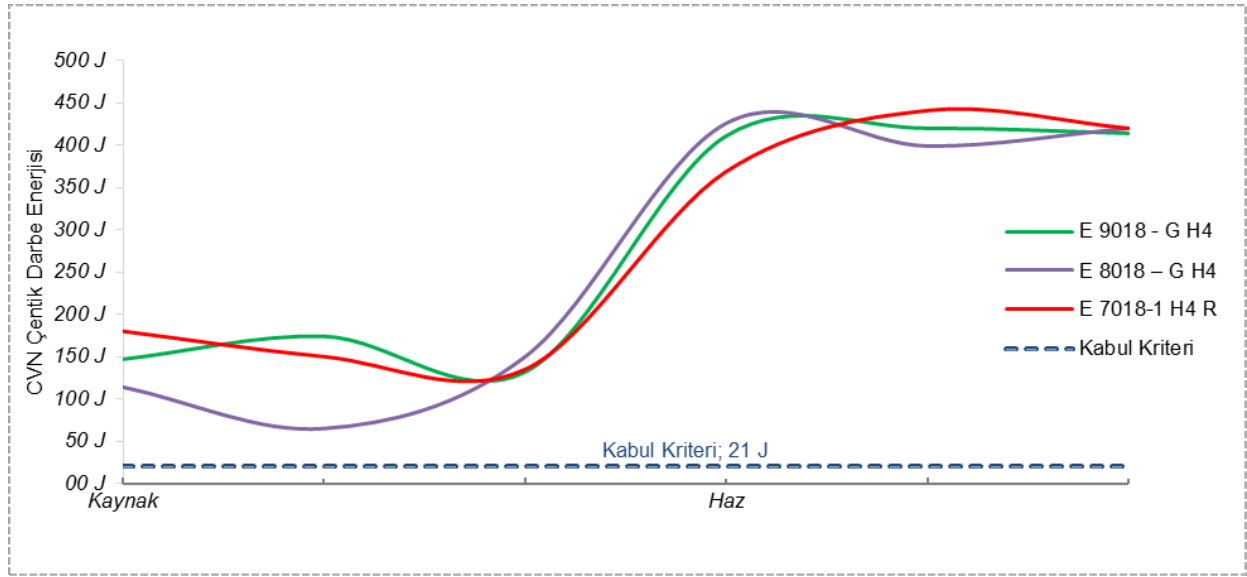
Dolgu Metali Sınıfı	Numune Tanımı	Çekme Mukavemeti (MPa)
	Kabul Kriteri API 5L Tablo H.1	min. 535
E 9018 - G H4	Kaynak - Enine	629
	Kaynak - Enine	649
E 8018 – G H4	Kaynak - Enine	650
	Kaynak - Enine	631
E 7018-1 H4 R	Kaynak - Enine	622
	Kaynak - Enine	618



**Şekil-3: Kaynaklı Çekme Test Sonucu Grafiği**

**Tablo-6: Çentik Darbe Test Sonucu (-10°C)**

Dolgu Metali Sınıfı	Bölge	1 (Joule)	2 (Joule)	3 (Joule)	Ortalama (Joule)
Kabul Kriteri API 5L (min.)	Kaynak, Haz	21	21	21	27
E 9018 - G H4	Kaynak	147	174	132	151
	Haz	411	420	414	415
E 8018 - G H4	Kaynak	114	65	150	110
	Haz	426	399	420	415
E 7018-1 H4 R	Kaynak	180	150	135	155
	Haz	369	441	420	410



**Şekil-4: Çentik Darbe Test Sonucu (-10°C) Grafiği**

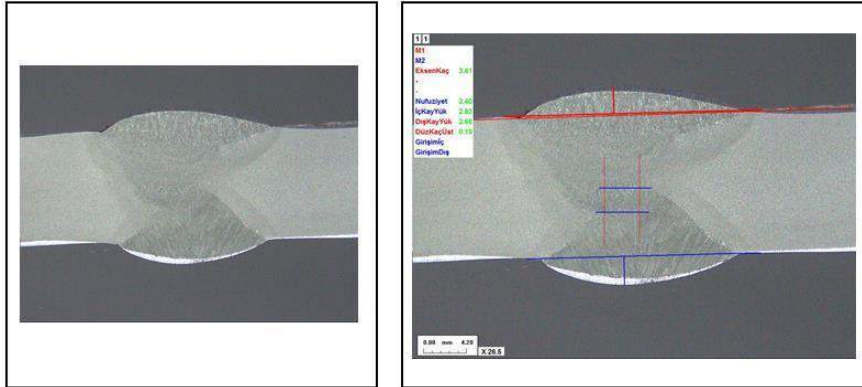
**Tablo-7: Nick Break Test Sonucu**

Dolgu Metali Sınıfı	Numune	Nick Break Testi		Sonuç
E 9018 - G H4	2 ad. Kaynak	Çentik Ölçüsü (mm)	3,17	Olumlu
E 8018 - G H4	2 ad. Kaynak			Olumlu
E 7018-1 H4 R	2 ad. Kaynak			Olumlu

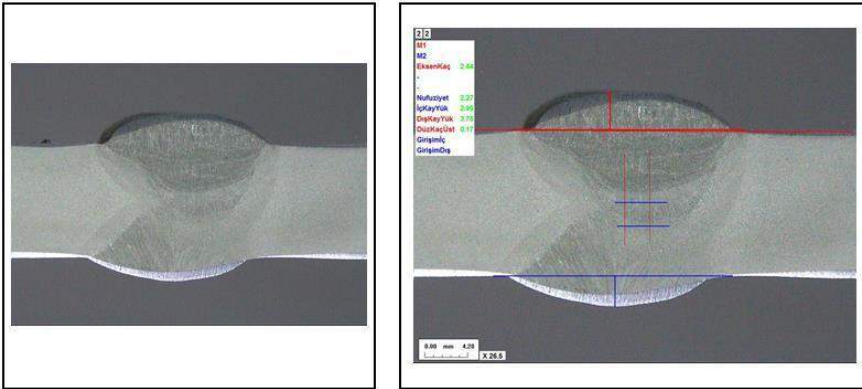
**Tablo-8: Bükme Test Sonucu**

Dolgu Metali Sınıfı	Numune	Bükme Testi		Sonuç
		Mandrel Çapı (mm)	Mandrel Aralığı (mm)	
E 9018 - G H4	1 ad. İç Bükme 1 ad. Dış Bükme	128,43	160,17	Olumlu
E 8018 - G H4	1 ad. İç Bükme 1 ad. Dış Bükme			Olumlu
E 7018-1 H4 R	1 ad. İç Bükme 1 ad. Dış Bükme			Olumlu

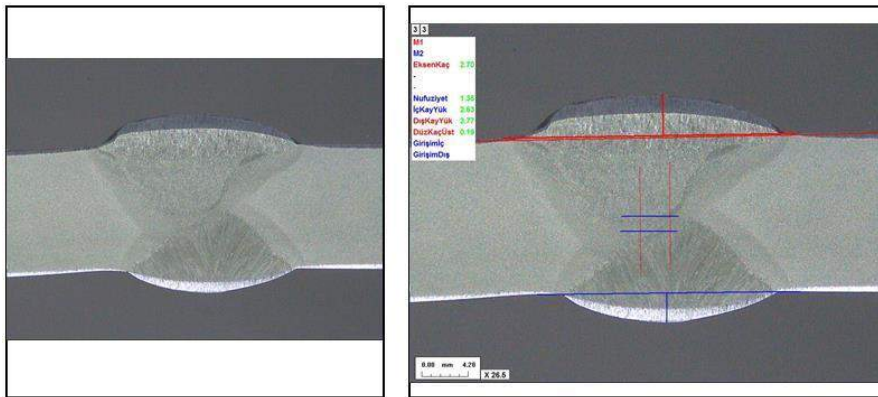
**Tablo-9: Makrografik Muayene Test Sonucu**



E 9018 - G H4



E 8018 - G H4



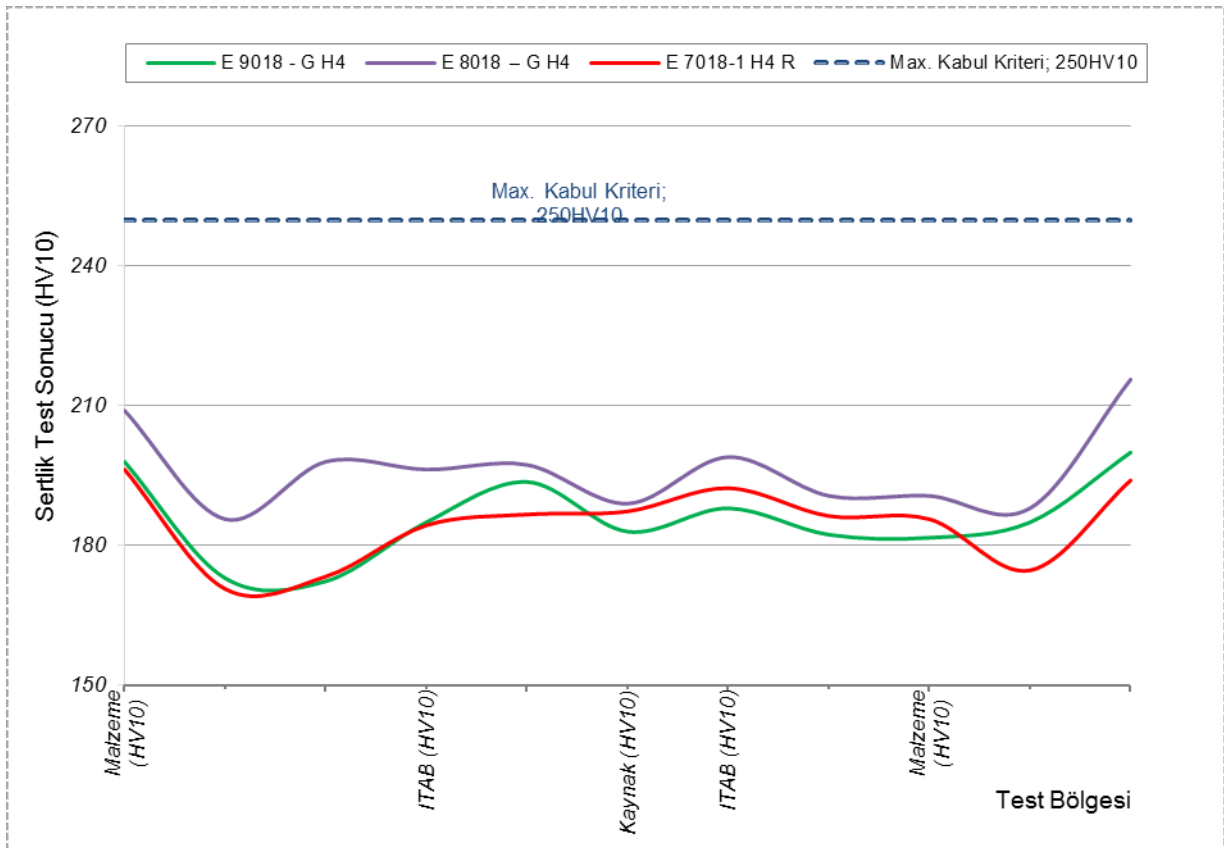
E 7018-1 H4 R

Dolgu Metali Sınıfı	Nüfuziyet (mm)	Eksen Kaçıklığı (mm)	Düzlemsel Kaçıklık (mm)	İç Kaynak Yüksekliği (mm)	Dış Kaynak Yüksekliği (mm)
Kabul Kriteri API 5L (en fazla)	Tam Nüfuziyet	3,00	1,50	3,50	4,50
E 9018 - G H4	2,40	2,88	0,19	2,83	2,66
E 8018 - G H4	2,27	2,44	0,17	2,99	3,75
E 7018-1 H4 R	1,35	2,70	0,19	2,63	3,77



**Tablo-10: Sertlik Test Sonucu (HV10)**

Test Bölgesi		Malzeme (HV10)	ITAB (HV10)			Kaynak (HV10)			ITAB (HV10)			Malzeme (HV10)
API 5L	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345
API 5L Annex H (Sour Service)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
E 9018 - G H4	Dış	195	185	174	187	188	170	186	173	180	183	191
	Orta	192	141	155	170	159	162	172	168	172	153	187
	İç	207	193	188	198	<b>234</b>	217	206	206	193	219	222
E 8018 - G H4	Dış	198	168	189	190	191	179	187	187	191	187	212
	Orta	217	216	213	192	181	200	<b>227</b>	200	193	193	218
	İç	212	173	192	207	220	188	183	185	188	184	217
E 7018-1 H4 R	Dış	202	186	191	196	213	<b>230</b>	219	218	205	188	204
	Orta	195	185	174	187	188	170	186	173	180	183	191
	İç	192	141	155	170	159	162	172	168	172	153	187



**Şekil-5: Sertlik Test Sonucu Grafiği**

---

#### 4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

- AB’de birçok ülkede kullanılmaya başlanan ve Türkiye’de doğal gaz iletim hatlarında yakın zamanda kullanılması düşünülen hidrojen katkılı doğal gaz kullanımına yönelik çalışmalar devam etmektedir. Enerji sektörü bu kapsamda çalışmalarına başlamıştır. Kaynak sektörü de bu kapsamda doğal gaza hidrojen katkılı olması ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmalarını başlatması önerilmektedir.
- Doğal gaz boru iletim hattında kullanılacak boru üretimi API 5L standardına göre gerçekleştirilmektedir. Hidrojen katkılı doğal gaz boru üretim standardı API 5L Annex H’da ‘Sour Service’ olarak belirtilmiş ve üretim proseslerinde bir takım ek testler ve mevcut testlerdeki kabul kriterlerinde değişiklikler olduğu gözlenmiştir.
  - Ek testler;
    - ❖ NACE TM0284 standardına göre HIC (Hydrogen Induced Cracking) testi
    - ❖ NACE TM0177 standardına göre SSC (Sulfide Stress Cracking) testiTürkiye’de henüz bu testleri gerçekleştirilecek laboratuvar olmayıp, bu kapsamda Türkiye’de hem laboratuvarlar hem de TÜRKAK’ın gerekli çalışmaları başlatması önerilmektedir.
  - Mevcut testlerdeki değişiklikler;
    - Sertlik testi; API 5L’de kabul kriteri en fazla 345HV10 iken API 5L Annex H (Sour Service)’te kabul kriteri en fazla 250 HV10’dur.
- Bu çalışma; hidrojen katkılı doğal gaz iletim hattında kullanılacak API 5L X65MS çelik kalitesindeki boru üretiminde yapılacak olan tamir kaynakları için elektrod seçimi yapılmıştır.
- E7018-E8018-E9018 üç farklı elektrod ile API 5L X65MS çelik kalitesi ile elle ark kaynağı yöntemi kullanılarak prosedür kalifikasyon testleri gerçekleştirilmiştir.
  - Sertlik değerleri kabul kriterleri içerisinde (en fazla 250 HV10) sonuçlanmıştır.
    - ❖ E 9018 - G H4 için; Haz: en fazla 219 HV10 ; Kaynak: en fazla 234 HV10
    - ❖ E 8018 – G H4 için; Haz: en fazla 216 HV10 ; Kaynak: en fazla. 227 HV10
    - ❖ E 7018-1 H4 R için; Haz: en fazla 218 HV10 ; Kaynak: en fazla 230 HV10
- Farklı dolgu metal sınıfında (E7018-E8018-E9018) elektrodun mekanik özelliklerinin farklı olması beklenirken yapılan çalışmada mekanik özelliklerine etkisinin çok az olduğu görülmüştür.

---

## 5. KAYNAKLAR

- [1] Hidrojen Teknolojileri Derneği, 'Ülkemiz, Hidrojen Kullanarak Doğal Gazı Daha Çevre Dostu Yapan Teknoloji ile Buluşuyor...', <https://www.hidrojenteknolojileri.org/>
- [2] GAZBİR-GAZMER, 'Doğal Gaz Sistemlerinde Hidrojene Geçiş: Avrupa Örneği Uluslararası İlişkiler Komisyonu', GAZBİR-GAZMER Uluslararası İlişkiler Komisyonu, Temmuz 2020
- [3] API, Line Pipe, API Specification 5L Forty-Sixth Edition Standard, April 2018
- [4] ANSI/NACE Standard TM0284-2003, Evaluation of Pipeline and Pressure Vessel Steels for Resistance to Hydrogen-Induced Cracking, 2003 Edition, September 17, 2003
- [5] ANSI/NACE Standard TM0177-2016, Laboratory Testing of Metals for Resistance to Sulfide Stress Cracking and Stress Corrosion Cracking in H<sub>2</sub>S Environments, 2016 Edition, April 18, 2016

# KAYNAKLI ÇELİK YAPILARIN 6 ŞUBAT DEPREMİNDE GENEL PERFORMANSI

*H. Yener Gür'eş<sup>1</sup>, Özgür Köylüoğlu<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Yönetim Kurulu Başkanı, Türk Yapısal Çelik Derneği (TUCSA), Bayramağa Sk. No:14/4 Kozyatağı İstanbul – Türkiye / European Convention for Constructional Steelwork (ECCS) Önceki Başkanı (Mobil: +90 530 3138117 e-mail: yenergures@gmail.com <https://tucsa.org>)

<sup>2</sup> Dr. Öğretim Üyesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yeditepe Üniversitesi İnönü Mah. Kayışdağı Cad. 326A Ataşehir İstanbul - Türkiye / TUCSA İcra Kurulu Üyesi ve Sürdürülebilirlik Komitesi Başkanı, (Tel: +90 216 5781724 e-mail: ozgur.koyluoglu@yeditepe.edu.tr <https://eng.yeditepe.edu.tr/tr/insaat-muhendisligi-bolumu>)

## ÖZET

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş, 20 Şubat 2023 tarihinde Hatay'da meydana gelen depremlerin etkileri kaynaklı çelik yapılar açısından incelendiğinde, 200.000'in üzerinde betonarme ve yığma yapının yıkılmış, ya da yıkılması gerekecek derecede ağır hasarlı olmasına karşılık, hiçbir çelik yapının yıkılmadığı görülmüştür. Türkiye'de çelik yapı kullanım oranı fevkalade azdır. İnsanların bundan sonraki depremlerde ölmemesi için çelik yapılara verilen önemin gözden geçirilmesine ve bu konunun devlet politikası haline getirilmesine ihtiyaç vardır. Çelik yapılar yalnız can kurtarmakla kalmayıp, sürdürülebilirlik açısından çeşitli avantajlar sağlarken, sanayi yapılarında kullanılmak suretiyle hem deprem sonrası ekonominin canlanmasına hem sosyal açıdan halkın moralinin toparlanmasına imkân sağlar.

## ANAHTAR KELİMELER

çelik, çelik yapılar, sürdürülebilirlik, deprem dirençli yapılar, kaynak, sismik aktivite

## ABSTRACT

When the effects of the earthquakes that occurred in Kahramanmaraş on February 6, 2023 and in Hatay on February 20, 2023 were examined in terms of welded steel structures, it was seen that although more than 200,000 reinforced concrete and masonry structures were either collapsed or to be demolished due to heavy damage, no steel structures collapsed. The rate of steel structure usage in Turkey is extremely low. In order to prevent loss of life in future earthquakes, there is a need to review the importance given to steel structures and make this issue a state policy. Steel structures not only save lives, but also provide various advantages in terms of sustainability, and by being used in industrial structures, they enable both the revival of the economy after the earthquake and the social recovery of the public.

## KEYWORDS

steel, steelwork, sustainability, resilient structure, welding, seismic activity

## TEŞEKKÜR

Makine Mühendisleri Odasının bu yıl düzenlediği **Uluslararası Katılımlı Kaynak Teknolojisi 13. Ulusal Kongre ve Sergisi**'nde (KAYKON 2023) 6 Şubat Depremini göz önüne alarak "**Kaynaklı Çelik Yapıların Deprem Esnasındaki Davranışları**" teması ile bir oturum düzenlediği ve bu çalışmaya Türk Yapısal Çelik Derneğini de davet ettiği için teşekkürlerimizi sunarız.

## 1. GİRİŞ

Türkiye sismik aktivitesi yüksek bir ülke. Bir yılda büyüklüğü 4.0'ten büyük 100'den fazla deprem meydana gelmekte, bazı yıllarda bunların sayısı 200'den fazla olabilmektedir. Bu topraklarda binlerce yıldır deprem oluyor ve olmaya da devam edecek. Depreme maruz başka ülke yok mu? Var. Onların hepsinde de böyle yıkım oluyor mu? Depreme dayanıklı yapıların yapıldığı ülkelerde hayır. Oralarda, alışkanlıklara dayalı çelik mi beton mu tartışması olmuyor, bilimsel olarak her malzemenin kendine özgü avantajından yararlanılıyor.

Cumhuriyet döneminde yaşadığımız üç büyük depremden ikisindeki can kayıplarımıza bakalım: 26 Aralık 1939 tarihinde yaşanan ve 7.9 M<sub>w</sub> büyüklüğündeki Erzincan depreminde **32.962 vatandaşımızı**, 17 Ağustos'ta başlayan 12 Kasım'da Düzce'de devam eden 7.4 M<sub>w</sub> büyüklüğündeki Büyük Marmara Depreminde **18.373 canımızı** kaybettik.

6 Şubat'ta merkez üssü Kahramanmaraş olan, biri 7.7 diğeri 7.6 büyüklüğünde, 9 saat arayla meydana gelen iki deprem ve ardından yaşanan depremlerden “Genel Hayata Etkili Afet Bölgesi” ilan edilen 17 ilimiz (Kahramanmaraş, Hatay, Gaziantep, Malatya, Diyarbakır, Kilis, Şanlıurfa, Adıyaman, Osmaniye, Adana ve Elazığ ile Bingöl, Kayseri, Mardin, Tunceli, Niğde ve Batman) doğrudan etkilendi. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı'nın raporuna<sup>1</sup> göre, depremde 35.355 binanın yıkıldığı, 17.491 binanın (60.728 bağımsız bölümün) acil yıkım beklediği, 179.786 binanın ağır hasarlı olduğu, 40.228 binanın orta ve 431.421 binanın ise hafif hasarlı durumda olduğu tespit edildi. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürlüğü'nün, 19 Şubat 2023 tarihi itibarıyla yayımladığı Hasar Tespit Raporundan sonra 28 Şubat 2023 tarihinde yayımladığı bilgide şu veriler yer almaktadır: İncelenen bina sayısı 1.520.000, yıkık ve ağır hasarlı olan bina sayısı 202.000 ve bağımsız birim sayısı 582.000'dir. Yapı İşleri Genel Müdürlüğü'nün 12 Haziran 2023 tarihli incelemelerine göre ise yıkık bina sayısı 38.901, acil yıkılacak 21.208, ağır hasarlı 202.366 (toplam acil, ağır hasarlı ve yıkık konut sayısı 262.475), orta hasarlı 44.346, az hasarlı 627.805 bina tespit edilmiş, 132.780 binada ise hasar tespiti yapılamadığı açıklanmıştır.

Sonuç olarak, yerinde yapılan incelemelerde de görüldüğü üzere, hiçbir çelik yapı yıkılmazken 200 binden fazla betonarme, beton prekast prefabrik ve yığma yapı yıkıldı, o tarihlerdeki resmi rakamlara göre **50 binin üzerinde** insan beton blokların ve yığma yapıların altında can verdiler. Depremde bu ölçekte yapısal hasar yaşanması ve can kayıplarının bu sayılara ulaşması, teknik ve idari her kademedeki insan hatalarından ve ihmallerden dolayı bu kayıpların ve zararın yaşandığını düşündürmektedir. Aşağıda Madde 2.1. bendinde de rakamlarla açıklanan bu acı deneyimi çok iyi değerlendirmemiz gerekmektedir.

Yukarıdaki “çelik yapılar yıkılmadı” ifadesinin amacı beton veya çelik malzeme mukayesesi değil, bir istatistiksel veriden bahsetmek ve öncelikle inşaat yöntemlerinin değerlendirilmesini yapmak. Şantiyede yapılan inşaatlarda insan inisiyatifinin fazla olması, hata yapma olasılığını da artırıyor. Deneyimlenen diğer bir husus da bu depremde betonarme yapıların birçoğu enkaz haline dönerken, - *yeterli mühendislik hizmeti almamış ve kötü yapılmış olanlar da dahil* - çelik yapılar ya hasar almadılar ya da hasar alıp deforme oldular ama yıkılmadılar. Milyonlarca bina üzerinde gerçekleşen ve yok sayamayacağımız bu doğal deneysel sonuç. Bu ne anlama geliyor? Fay hattına yakın yapılar beton değil de çelik olsaydı, belki bu boyutta bir yaşamsal kayıp görülmeyecekti.

İmalat kalitesi konusundaki kaygılar, gelişmiş ülkelerdeki inşaatların, yapı elemanlarının şantiyede yapılması yerine, şantiye dışında fabrika ortamında yapılması (off-site construction) teknolojisine evrildi. Taşıyıcı sistem (yapı) elemanlarının fabrika ortamında, daha uygun kalite kontrol koşullarında yapılıp şantiyede monte edilmesinin avantajları görüldü. Bunun için gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de bir an önce; yapı elemanlarının “şantiyede yapım” yerine fabrika ortamında “endüstriyel ürün” haline dönüştürülmesi şarttır ve ölümleri azaltmanın en önemli ve kesin sonuç veren yoludur.

## 2. YAPILAR NEDEN YIKILIYOR

<sup>1</sup> T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığının 17 Mart 2023 tarihli raporu <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/03/2023-Kahramanmaraş-ve-Hatay-Depremleri-Raporu.pdf> sayfa 65 Tablo 34

## 2.1. Mevcut Durumu Değerlendirmesi

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığının 17 Mart 2023 tarihli raporuna göre<sup>2</sup> depremde etkilenen ilk 11 ildeki 5.649.317 konutun yer aldığı binaların %86,7'si betonarme, %3,5'i yığma, %3,6 prekast beton prefabrik %2,4'ü çelik (büyük çoğunluğu sanayi yapısı), konut özelinde bakıldığında zaman %95,4'ü betonarme, %1,3'ü yığma, %0,6'sı prekast beton prefabrik %0,4'ü çelik taşıyıcı sistemli yapılarıdır. Bu binalardan 518.009 konutun yıkılmış / ağır hasarlı / acil (%9,2), 131.577 adedi orta hasarlı (%2,3) ve 1.279.727 adedi az hasarlı (%22,7) olarak belirlenmiştir. Bu rakamlar daha sonra yapılan incelemeler sonucunda bazı değişikliklere uğramış olabilir.

6 Şubat ve sonrasında yaşanan depremler gerçekten öngörülenin fevkindeydi. Depremün ivmesi ile yeterli hazırlığımızın olmaması birleşince ekonomik kaybın da 100 milyar doların üzerinde olduğu<sup>3</sup>, can kaybının ise AFAD açıklamalarına göre 50 binin üzerine çıktığı bilgileri paylaşıldı.

## 2.2. Yıkım ve Kayıpların Nedenleri

Bunca kaybın, “her seviyede insan hataları” diye özetlediğimiz nedenlerini incelediğimizde şu sonuçlara varmak mümkün;

### 2.2.1. *Bilgi noksanlığı* bunlardan biri.

Depremden sonra gözlemlenen, tasarım eksikliklerinden biri, geoteknik mühendisliği ile zemin mekaniği ve yapı etkileşiminin yeterince göz önüne alınmamış olması.

Tasarımda karşılaşılan sorunlar genellikle standart ve yönetmeliklerin doğru kullanılmamasından kaynaklanmaktadır. Oysa, ülkemizdeki standart ve yönetmeliklerin bugün için yıkıma veya göçmeye neden olacak bir sorunu yoktur. Ancak sorun genellikle projeye az para ödemek için, ülkemizde henüz yetkin mühendislik ayırımı olmadığından işverenin ehil olmayan mimar ve mühendislerle çalışmalarından kaynaklanmaktadır.

Ruhsat onayı veren makamların bünyelerinde ehil mühendis ve mimar bulunmaması halinde ya da bir kişinin kontrol süresinden çok daha kısa sürede çok sayıda proje onaylamak zorunda kalması halinde uygun olmayan projelere de onay verilebilmektedir. Bu da binanın yapısal güvenliğini olumsuz etkilemektedir.

Bazı projeler için ruhsat makamları “üniversite onayı” istemektedir. Bununla birlikte, yurtdışında birçok ülkede olduğu gibi, proje kontrolü (proof engineering) için yetkilendirilmiş proje büroları veya mühendislerden de “proje kontrolü” desteğinin alınabilmesinde yarar vardır. Örneğin, TUCSA bünyesindeki Yapısal Çelik Eğitim ve Araştırma Merkezi İktisadi İşletmesi (YAÇEM) TUCSAMark belgelendirme sistemi kapsamında talep eden belediyelere ve işverenlere “TUCSAMark Proje Kontrol Raporu” desteği vermektedir.

### 2.2.2. *Denetim noksanlığı* insan hatalarından diğer önemli bir etmendir. Bu konuda;

Yapı Denetim Sistemi yeterince etkin olamamaktadır. Yapı denetim kuruluşlarında çelik yapılar ve kaynak denetimi konusunda uzman personel bulunmadığı gibi diğer alanlarda da yeterli personel bulunmayabilmektedir. Ayrıca, pazarlıklar sonucunda alınan gerçek bedel denetim için harcanması gereken insan-saat maliyetini karşılamadığı için yeterli sayıda yetkin mimar ve mühendis görevlendirilmeyebilmektedir. Sıkça rastlanan bu aksaklıklara karşılık, yapı denetim firmaları da yeterince denetlenememektedir.

Uygulama sırasında, proje müellifinin onayı olmadan projede değişiklik yapılmaması gerektiği halde, birçok durumda proje müellifi projeyi teslim ettikten ve projesi onaylandıktan sonra parası ödenmekte ve uygulamanın dışında bırakılmaktadır. Oysa normal koşullarda proje müellifi işin teslim alınmasına kadar sistemin içinde bulunmalıdır.

Çelik yapılarda kalite kontrol sorunu, yapısal elemanların büyük ölçüde fabrika ortamında kaynaklı ve/veya soğuk şekil verilmiş imalatlar olarak üretilmesi ile giderilmektedir. Çelik yapılarda özel bir uygulama alanı olan modüler yapılarda ise, ıslak zeminler, mekanik ve elektrik tesisat dahil ince inşaat işleri dahi fabrika ortamında tamamlanmakta, şantiyede sadece temel, altyapı ve montaj işleri yapılmaktadır.

<sup>2</sup> T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığının 17 Mart 2023 tarihli raporu sayfa 33-36 Tablo 16, 19, 20.

<sup>3</sup> T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığının 17 Mart 2023 tarihli raporu sayfa 130 Tablo 66



### 2.2.3. **Meslek etiği** de binaların yapısal güvenliği açısından çok önemli;

Gerek projeyi yapanlar gerek uygulayanlar için yapının ve içinde yaşayacak olanların güvenliği daima birinci planda olmalıdır. Meslek etiğine sahip bir mimar ve mühendis, işi kaybetmemek için, hatta daha kötüsü kârını artırmak için can güvenliğini riske atma ihtimali bulunan durumlardan sakınmak, denetleyemediği işlere imza atmaktan kaçınmak, yetkin olmadığı konularda deneyimli mühendislerden destek istemek, denetim dışı işlerin yapılmasını engellemekle, hatta ısrarla yanlışa devam edilmesi durumunda bu durumları ihbar etmekle yükümlüdür. Meslek etiğinin bu kuralları evrensel kurallar olup, dünyadaki mesleki kuruluşların tamamında üyelerinin uyması gereken kurallar olarak ortaya koyulmuştur. Son depremdeki durum maalesef bu konularda ihmaller olabileceğini düşündürmektedir.

Türkiye’de beton çok kaliteli üretilir, ancak sahada yapılan özellikle betonarme ve yığma yapı inşaatlarının projeden, zemin mekaniğinden, yapımının sonuna kadar her safhasının çok iyi izlenmesi ve denetlenmesi şarttır. Oysa bunun yeterince uygulanmadığı depremde görülmüştür. Akıllara ilk gelen “Yapıları her safhada daha iyi denetler kontrol edersek bundan sonra betonarme yapılar da yıkılmaz” ifadesidir. Teorik olarak doğru, ancak kalite kontrol ve meslek etiği bir kültürdür ve ülke çapında bunun kazanılması için kanaatimizce en az bir neslin eğitilmesine ihtiyaç vardır ve bunun için derhal çalışmaya başlanmalıdır.

### 2.2.4. **Ahlak değerlerinin erozyonu** konusu da meslek etiğine paralel önem taşımaktadır.

Toplumumuzda, kökeni belki de yüz yıllara dayanan rüşvet, kayırmacılık veya başka şekillerde tezahür eden yozlaşmanın ortadan kaldırılması için, ahlak değerlerinin din, dil, ırk ayırımından bağımsız olarak yeniden tesisi için bugünden başlamak üzere ciddi önlemler alınması ve sabırla uygulanması şarttır.

## 3. ÇELİK YAPILARIN DEPREM GÜVENLİĞİ AÇISINDAN AVANTAJLARI

Son deprem göstermiştir ki, beton yapılar malzeme kötü olduğundan değil ama insan inisiyatifine çok yer verdiği için yüz binlerce yapının yıkılmasına veya ağır hasar almasına neden olmuştur. Buna karşılık çelik yapılar süneklik (ductility), hafiflik gibi özelliklerinin yanında fabrika şartlarında daha yoğun bir kalite kontrol altında imal edilmiş olduğundan depremde ayakta kalmışlardır. Bu da göstermiştir ki, depreme karşı dayanım gösteren çelik yapıların en önemli avantajlarından biri endüstriyel ürün olmasıdır. Bunun yanında diğer özelliklerine de kısaca değinecek olursak;

3.1. **Hafiflik.** Bir binanın hafif olmasının iki temel avantajı var; biri deprem etkime kuvvetinin, diğeri zemine gelen yükün azalması.

3.2. **Homojen Yapı.** Çelik izotrop bir malzemedir. Fabrikalarda farklı mekanik özelliklerde üretilmektedir. Fabrikadan çıkan ürünün kalitesi standarttır.

3.3. **Süneklik.** Çeliğin diğer taşıyıcı sistem malzemelerine oranla daha sünek olması, diğer bir deyişle deformasyon kabiliyetinin olması, malzemenin kırılma dayanımını da aynı oranda azaltmakta, yapı sistemine esneklik kazandırmaktadır.

3.4. **Yapım Sürati.** Teknoloji ürünü olması nedeniyle, çelik yapıların tasarım safhası daha uzun ve detaylı çalışmayı gerektirmekle birlikte, imalat ve özellikle saha montajı çok daha kısa sürede tamamlanabilmektedir.

3.5. **Sürdürülebilirlik.** İlgili standartlara göre üç alt başlık altında ele alınan çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirlik konularının her birinde çok önemli avantajlar sağlamaktadır. Binanın kullanım ömrü sonunda çelik yapı elemanları ya tam geri dönüştürülür (up-recycling) ya da başka bir yapıda yeniden kullanılabilir (re-use). Bunun için yapılar tasarlanırken, ilgili standart uyarınca sökülme veya parçalanabilirlik hususları projelendirme safhasından itibaren göz önüne alınarak önemli bir ekonomik değer yaratılır.

3.6. **Her Hava Koşulunda Yapım Olanığı.** Sahada ıslak imalat gerektirmemektedir. Montaj şartlarını nasıl etkilediği önceden hesaba katılarak her hava koşulunda montaj yapılması mümkündür.

3.7. **Denetim Kolaylığı.** Çelik taşıyıcı sistemli yapıların gerek çelik malzeme üretimi, gerek imalat, gerekse saha montajı sırasında denetim ve gözetimleri, büyük ölçüde görsel ve aletli gözlemlerle yapılabilmesi sebebiyle diğer yapı sistemlerine oranla çok daha kolaydır. Bu özelliğin önemi, binalarda denetim ve gözetimin çok yetersiz uygulanabildiği gömülü imalatların / inşaatların söz konusu olduğu yapı sistemlerine göre önemli avantajlar sağlamaktadır.

3.8. **Esnek Kullanım Olanığı.** Diğer birçok avantajının yanında değineceğimiz, çelik taşıyıcı sistemli binaların diğer bir avantajı da daha büyük açıklıklara sahip mekan tasarımlarına imkan vermesi, bunun da kullanıcıya esnek kullanım olanağı vermesi, iç mekanların gereksinime göre yeniden düzenlenebilmesidir.

3.9. **Yapı Elemanlarının Değiştirilebilirliği.** Çelik yapılarda kolon ve kiriş hasar gördüğü zaman yenisiyle değiştirilebilir veya takviye edilebilir. Yaşanan depremde sonra, bunun başta sanayi yapıları olmak üzere ne kadar önemli olduğu görüldü.

9 Ağustos 2017 tarihinde hazırlanarak Türkiye Çelik Üreticileri Derneği kanalıyla Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ulaştırılan söz konusu etüde aşağıdaki linkten ulaşılabilir.

<https://tuksa.org/tr/yayinlar.aspx?yayin=3>

## 4. DEPREM GÖZLEMLERİ VE ALINAN DERSLER

### 4.1. Depremlerden Ders Alınması

17 Ocak 1994'te Los Angeles şehrini vuran 6.7 (Mw)<sup>4</sup> büyüklüğündeki ve sadece 57 can kaybının yaşandığı Northridge depreminden Amerikalıların ve tam bir yıl sonra 17 Ocak 1995'te Kobe şehrini vuran 7.2 (Mw) büyüklüğündeki ve çıkan yangınlar nedeniyle 6.200 can kaybı rapor edilen Büyük Hanşin depreminden Japonların ders çıkardığı ve çeliğin avantajlarını kullanmayı öğrendikleri gibi bizim de 6 Şubat depreminden ders çıkarmamız şart.

Northridge depreminde görüldü ki, şantiyede yapılan kaynakların birçoğunda çatlamlar meydana geldi, yetersiz ve uygun olmayan kaynaklar yapıların göçmesine veya hasar almasına neden oldu. Onun üzerine, standartlarda yapılan değişikliklerde iki konu öne çıktı: Birincisi kaynak işlemi uygun koşullarda (fabrika ortamı gibi) yapılmalı, ikincisi ise yapı elemanlarının şantiyede montajı / birleştirilmesi öncelikle cıvatalı (bulonlu) birleşimlerle sağlanmalıydı.

1939 Erzincan depreminden ve 1999 Büyük Marmara depreminden yeterince ders alamadık, yüzeysel kaldık. Yönetmeliklerin ekindeki standartlarda yer alan koşulları ağırlaştırarak deprem güvenliğini sağlayacağımızı zannettik ama olmadı, çünkü kök nedene inemedik. Bolu-Gerede, Varto, Lice, Çaldıran-Muradiye, hatta 21 Ekim 2011'deki Van depreminden de çıkaracağımız çok dersler olmalıydı. Oysa çelik yapılar alternatif yapı malzemesi zannedilmeye devam etti. Peki bu depremlerden ders çıkaramazsak ne olur? Bir doğa olayı olan depremler yine olur ve biz yine binlerce insanımızı enkazların altında kaybetmeye devam ederiz.

Türk Yapısal Çelik Derneğinin kurucu başkanı merhum Prof. Dr. Tevfik Seno Arda'nın "Doğru projelendirilen, doğru malzemeyle doğru yapılan her yapı güvenlidir" deyişini yıllarca kullandık ve savunduk. Ancak bu deprem gösterdi ki, insan hatalarının önüne geçmek bunca deprem deneyimine rağmen mümkün olmamıştır, bu ifadede yer alan şekilde doğru yapı yapmak mevcut sistem içerisinde mümkün olamamaktadır.

### 4.2. Denetim Sistemi

Betonarme ve yığma yapıların yıkıldığı Kahramanmaraş depreminde sorun beton malzemedenden çok yerinde inşaatın insan hatasına çok imkân verir nitelikte olmasıdır. Uygulamadaki insan hataları olasılığını en az seviyeye indirmek üzere fabrika koşullarında imal edilen yapı elemanları, kalite güvence ve kalite kontrol (QA/QC) açısından şantiyede yapılan yapı elemanlarına nazaran çok daha güvenlidir. Ancak, bu süreçte en zor gerçekleştirilen, alışkanlıkların ve

<sup>4</sup> Moment büyüklüğü için; <http://www.koeri.boun.edu.tr/bilgi/buyukluk.htm> / [https://en.wikipedia.org/wiki/Moment\\_magnitude\\_scale](https://en.wikipedia.org/wiki/Moment_magnitude_scale)

kafa yapılarının değişimidir. Diğer bir deyişle kalite kontrol ve kurallara uyma alışkanlığı bir kültürdür ve uyum değil değişim gerektirir. Ama mutlaka bu yönde çaba sarf edilmesi şarttır.

Şantiye dışında imalatın ikinci avantajı ise seri imalata olanak sağlaması, böylece hem süratin artırılmasına hem ince inşaat işleri dahil işlerinin yaklaşık %85'inin fabrika ortamında tamamlanmasına, böylece ihtisaslaşmaya ve otomasyona imkân vermesidir. Örneğin, bu amaçla geliştirilen modüler yapıların aynı otomobil imal eder gibi kurulan hatlarda otomasyonla yapılması mümkündür ve bugün için bir tesiste yılda 120 m<sup>2</sup>'lik yaklaşık 3.700 adet (toplam 444.000 m<sup>2</sup>) bağımsız birim imal edilebilir. Müstakil ev, sıra ev, apartman, okul, kreş, hastane, otel, yurt binası, kamu binaları gibi çeşitli tip binalarda kullanılan modüler yapılar için bu rakamın, mevcut imkanlarla kolaylıkla yılda 10 bin, hatta yapılacak yatırımlarla 100 bin kapasiteye ulaştırılması mümkündür. Bunun sonucunda, otomotiv sektöründe olduğu gibi, dünyada talebi artan ve artacak olan modüler yapı ihracatının da önünü açılacak, ülke ekonomisine önemli katkı sağlanacaktır.

Her depremden sonra, çelik yapılara olan ilgi önce artar, kısa bir süre sonra unutulur. Ancak bu kez durum farklı. Son depremde yüzbinlerce betonarme ve yığma yapı yıkıldı, ağır hasar alan betonarme ve prekast sanayi yapıları yıkılmak zorunda kalırken, hasar alan çelik taşıyıcı sistemli sanayi yapıları kısa sürede faal hale geldiler. Hiç şüphe yok bilim insanları bunların nedenlerini araştırarak, bilinen “doğru projelendirilen, doğru malzemeyle doğru yapılan her yapı güvenlidir” gibi kalıp cümlelerin arkasındaki gerçekleri belirleyeceklerdir.

1999 Depreminden sonra geçen 24 yılda ülkemizde kullanılan çelik yapı oranı (sanayi yapıları dahil) belki de %3'lerden %5'lere veya biraz üzerine çıkmış olabilir. Buna karşılık ülkemizde mevcut yapı stoğunun yaklaşık %95'inin betonarme, prekast, yığma ve diğer tip yapı olduğunu biliyoruz. Sektör olarak yine biliyoruz ki **%95 ve %5** oranı (ya da dengesizliği) gelişmiş bir deprem ülkesi için kabul edilebilir değildir.

Yapılması gereken, **insanlarımızın depremden dolayı ölmemesi için** ülkenin ihtiyacı olan yeni bir çelik yapı hedefi belirlemek ve bu hedefe kararlı ve sistematik bir şekilde ilerlemektir. Deprem ülkesi olan ülkemizde de en az çimento ülkesi Fransa ve Almanya'daki gibi %70'e karşılık %30 çelik taşıyıcı sistemli yapı olmak zorunda. Aksi takdirde, bilimsellikten uzak, alışkanlıklarımıza dayalı davranışlarımızla gelecek depremlerde 100 binlerce can vermeye, 100 milyarlarca Euro ekonomik kayba uğramaya devam ederiz.

Bir an düşünelim, Kahramanmaraş depreminde tüm yapılar çelik olsaydı ne olurdu diye. Bölgede depremden etkilenen 17 ilde hasar alan oldu ama bir tek çelik yapı yıkılmadı. Bu konuda en çarpıcı hasar



6 Şubat 2023 - Deprem'den hemen sonra



Çelik Apartmanları – Antakya (Depremden önce)

örneği olarak Antakya'da yapılmış olan Çelik Apartmanlar hakkındaki görüntüler solda ve aşağıda paylaşılmıştır.

Depremden çok önce yapılmış olan 3 adet Çelik Apartmanlar yukarıda görülmektedir. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depreminde Antakya'da çok sayıda betonarme ve yığma yapı yıkıldı. Yukarıdaki 3 çelik apartman binasında soldaki fotoğrafta görüldüğü gibi hasar meydana geldi, ancak can kaybı veya yaralanma olmadı.

20 Şubat 2023'te Hatay'da merkez üssü Defne ve Samandağ ilçeleri olan 6,4 ve 5,8 M<sub>w</sub> büyüklüğünde meydana gelen iki

depremden sonra Antakya'daki binaların ve küçük sanayi yapılarının çoğu yıkıldı veya ağır hasar aldı. Antakya'daki yukarıda belirtilen hasarlı 3 çelik apartmandan birinde muhtemelen zemininde meydana gelen çökmeden sonra meydana gelen hasar sağda görülmektedir. İlk anda bu hasar meydana gelse dahi içindeki insanların binayı güvenli bir şekilde terk edebilecekleri anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak mümkün olsa da tüm yapılar çelik olsaydı, **hiç can kaybı** olmayabilirdi.

Kurtarma organizasyonu mutlaka geliştirilmeye devam edilmeli, güçlendirilmeli ama depremdaki ölümleri engellemenin tek yolunun depremden yıkılmayacak **deprem dirençli yapılar** yapmak olduğu daima göz önünde bulundurulmalıdır.



20 Şubat 2023 – Hatay Depreminde hemen sonra  
(Bu fotoğraf 27 Nisan 2023'te çekilmiştir)

### 4.3. Çelik Yapıların Deprem Hasar Tespiti Çalışmaları

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremlerin ardından Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürlüğü'nün (YİGM) 29 Mart 2023 tarih ve "Hasar Tespit Çalışmaları" konulu yazısı ile YİGM'nin, koordinasyonunu yaptığı<sup>5</sup> Afet Hasar Tespit Hizmetlerini çerçevesinde deprem bölgesindeki çelik yapıların hasar tespitinin yapılması Türk Yapısal Çelik Derneğinden ilk kez istendi.

YİGM'nin talimatı üzerine çelik yapılar konusunda uzman gönüllü mühendislerden hasar tespit ekipleri oluşturuldu ve hasar tespiti yapılması istenen Payas, Antakya, İskenderun, Kahramanmaraş ve Osmaniye'deki hasarlı olduğu bildirilen çelik yapıların hasar tespitleri yapıldı, daha önce betonarme ve yığma yapıların hasar tespit esaslarına göre belirlenen hasar derecelerinin çelik yapıların özelliklerine uygun olmadığı görüldü ve bulguların 18 Nisan 2023 tarihinde çoğunluğu akademisyenlerden oluşan TUCSA Hasar Tespit Komitesinde tartışılarak değerlendirildi.

Çalışmanın önemli sonuçlarından biri; deprem hasar tespitine ilişkin mevcut yasa, yönetmelik ve yönergelerin yapı stoğunun %95'ini oluşturan betonarme ve yığma yapılar için hazırlanmış olduğu, yapı stoğunun yaklaşık %5'ini oluşturan çelik yapıların deprem hasar tespitinin yapılması için çelik yapıların özelliklerine uygun düzenlenmiş mevzuata ihtiyaç olduğu tespit edildi. Konu YİGM'ye iletildi ve alınan yetkiyle TUCSA Hasar Tespit Komisyonu tarafından Çelik Yapılar için "**Deprem Sonrası Hasar Tespit ve Değerlendirme Kılavuzu**" dokümanı taslak yazım çalışmasına başlandı.

## 5. ÜLKEMİZDE ÇELİK YAPILAR NEDEN YETERİNCE YAPILMIYOR

Yapısal çelik sektörü yıllardır çelik yapıların kullanım oranını artırmaya çalışıyor. *Kartopu etkisi* de diyebileceğimiz başlangıçtaki büyümenin çok yavaş olması gibi, bu oranın da %3'ten %5'e yükselmesi uzun yıllar aldı. Yaşanan bunca depremden ve deneyimden sonra ilgililerin çelik yapılara olan ilgisinin ve bu konudaki çalışmalarının süratle artacağı değerlendirilmektedir.

*Türkiye'deki çelik yapıların* tarihçesine bakacak olursak, çelik yapıların çok geç ülkemize geldiğini ve **Feshane** veya eski adlarıyla **Feshâne-i Âmire** (1833) ve Balat'taki **Sveti Stefan Kilisesi** (Demir Kilise) (1896) örneklerinde olduğu gibi ülkemizde 19 yüzyılda bilinmeye başladığını görürüz. Çelik üretimi ise, Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün öngörü ve talimatı doğrultusunda Karabük'te demir ve çelik fabrikası kurulması işi Sümerbank'a verilmiş, temeli 3 Nisan 1937'de atılmıştır.

<sup>5</sup> Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP)

**Çelik Yapıları Bilen Mimar ve Mühendisler Sayıca Yetersiz.** Betonarme ve yığma yapılar konusunda eğitim veren üniversitelerimize çelik derslerinin girmesi de çok geç olmuş, yakın zamana kadar çelik dersleri seçmeli ders olarak verilmiş, inşaat mühendislerinin ve mimarların büyük bir çoğunluğu çelik dersi almadan mezun olmuştur. Cumhuriyet döneminde yapıların çelik olmaya başlamasından günümüzde %5 seviyesine ulaşana kadar geçen süreçte, doğal olarak çelik yapıları bilen öğretim elemanı sayısı da, ders saatleri de yine çok az olabilmıştır.

Dünya’da Çelik Üretiminde 8. Sırada, Avrupa’da Almanya’dan sonra 2. sıradayız. Normal koşullarda malzeme sıkıntısı da yoktur. İyi bir planlama ile üretilen yeni yapı stoğunun mümkün olduğu kadar fazla kısmının çelik yapı sistemleri ile yapılması, giderek gerek mimari gerekse mühendislik, imalat ve işçilik potansiyelinin artırılması gerekmektedir.

## **6. DEPREMDE YIKILMAYACAK SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPILAR YAPMAK ZORUNDAYIZ**

### **6.1. Kalite ve Denetim Bir Kültürdür**

Tabii ki doğru projelendirilen, doğru malzemeyle, doğru yapılan her yapı güvenlidir. Burada ifadenin üç kritik ögesine değinelim:

6.1.1. **Doğru projelendirme;** kullanılan yönetmeliklere ve standartlara uygun tasarım ve mühendisliği içermektedir. Türkiye’de bina deprem yönetmelikleri her büyük depremden sonra gözden geçirilmiş ve geliştirilmiştir. Sonuç olarak, ülkemizdeki standart ve yönetmeliklerin, daima gelişime açık olmak ve yaşanan depremlerde görülen sorunlar giderilmek koşuluyla, bugün için herhangi bir sorunu yoktur. Projenin ehil mimar ve mühendisler tarafından yapılması şarttır. Tasarım ve mühendisliğin, ucuza getirmek için yetkin olmayan projecilere yaptırılması halinde iki sonuç doğabilir; birincisi sonuçta ekonomiklikten uzaklaşılabilir, ikincisi yapının yapısal güvenliği riske girebilir

6.1.2. **Doğru malzeme;** mimari tasarım kapsamında, mühendislik gereksinimleri de göz önüne alınarak belirtilecek kaliteli ve sertifikalı malzeme olarak tanımlanabilir. İnşaat sürecinde malzemede yapılacak değişiklik ancak proje müellifinin onayı ile yapılmalıdır.

6.1.3. **İnşaatı doğru yapma** konusu, proje onayı ve ruhsattan, imalata ve saha montajına, lojistikten şantiyede yapılan altyapı ve üst yapı inşaat işlerine kadar zincirin en fazla hata yapılan bölümüdür. Şantiyede inşaat işleri insan hatasına en fazla fırsat veren bölümdür. Şantiyedeki imalat ekibinin deneyimli olması, işçilerin eğitimlerle güçlendirilmesi, sıklıkla yapılan hataları denetim altına alacak bir kontrol sistematığı kurulması ile yapı müteahhitliği sisteminin öz denetim becerilerini artırması şarttır. **Denetim** “Güvenli Yapı Zinciri” olarak da tanımlayabileceğimiz ve beş aşamada gruplandırabileceğimiz projelendirme (planlama, karar, tasarım, onay, ruhsat), malzeme, yapım (imalat, montaj ve inşaat işleri), işletme ve yaşam sonu safhalarının her birinde ilgili standartlara göre gerekli denetimlerin yapılması gerekir. Söz konusu denetimler yapılmak suretiyle; kalite güvencesi (quality assurance - QA) ve kalite kontrol (quality control - QC) sağlanmış olur.

Denetimin üç ögesi vardır: Kurallar, kendi kendini denetleyecek sistemin oluşturulması ve denetimden kaçmamayı sağlayacak etik değerler ve ahlaki alışkanlıklar. Kurallar deyince burada kastedilen yalnız kuralları belirlemek değil, uygulanabilir kurallar belirleyip uygulandığını kontrol edecek bir mekanizma oluşturmaktır.

### **6.2. Depremde Yıkılmayacak Yapılar Yapmak Zorundayız**

Depremde yıkılmayacak Deprem Dirençli (*Resilient*) Yapılar yapmak yaşanan depremleri iyi değerlendirmek ve onlardan ders almak zorunda olduğumuzu daha önce belirtmiştik. Doğru tedavinin ön koşulu doğru teşhistir. Bu açıdan, Üniversitelerin, odaların ve kamu kurumlarının hazırladıkları “Deprem Raporları” çok önemli. Tabii bunlar bir kereye özgü yayımlanmış kitaplar olarak raflarda kalmadıkları, üzerinde çalışıldığı, geliştirildiği ve eyleme dönüştürüldüğü sürece yarar sağlayacaklardır.



Burada, İTÜ tarafından Mart 2023'te yayımlanan raporun<sup>6</sup> **Madde 4** (Geleceğe Dönük Çıkarımların Kent Planlama ve Hızlı Konut İhtiyacının Karşılanması İçin Kullanılabilecek İnşaat Tekniklerinin Değerlendirilmesi) kapsamında yer alan birkaç noktaya değinilebilir.

Taşıyıcı sistem özelliklerine göre ifade edilen “Yeniden inşa edilecek konutlarda, zemin koşulları vb. birçok farklı koşul dikkate alınarak tünel kalıp ile inşa edilen taşıyıcı sistemler, prefabrik betonarme konutlar ve modüler çelik sistemler birlikte değerlendirilmelidir.” değerlendirmesine şu hususların da ilave edilmesinde yarar olacağı değerlendirilmektedir:

1. Depremde binaların yıkılmalarında önemli payı olan sahada inşaat yerine daha güvenilir olan şantiye dışında inşaat (off-site construction) konsepti teşvik edilmelidir.
2. Deprem bölgesinde, özellikle birleşim yerlerinde ciddi sorunlar gözlemlenmiş olan ön dökümlü (precast) betonarme yapıların, söz konusu sorunlar giderildikten sonra kullanılması daha uygun olabilir. Burada prefabrik kelimesi özellikle kullanılmamıştır, çünkü genel olarak prefabrik yapı deyince ön dökümlü betonarme yapı sistemi akla gelmektedir, oysa tüm çelik yapılar prefabriktir yani fabrikada imal edilip sahada monte edilir. Ayrıca, ahşap yapılar da prefabrik olabilmektedir.
3. Çelik yapılar kapsamında bahsedilen modüler yapılar ile birlikte, aşağıda “Çelik Yapı Sistemleri” başlığı altında belirtilen diğer yapı türleri de belirtilmelidir.

Raporda, “Zemin kat ve normal katların her birinin 2 gün/ kat hızla inşa edilebileceği tahmin edilmektedir. Örneğin, zemin kat ve 6 normal kat olmak üzere zemin kat seviyesinin üstünde toplam 7 katlı bir bloğun temel ve bodrum kat inşaat süreleri hariç olmak üzere yaklaşık 15 gün içerisinde inşa edilebileceği tahmin edilmektedir.” ifadesi kullanılmaktadır. Burada, hafriyat ve temel sürecinde imalatı tamamlanabilen çelik yapılar gibi fabrika ortamında yapılan yapıların sürat avantajından bahsedildiği değerlendirilmektedir.

### 6.3. Çelik Yapı Sistemleri

Ayrıca raporda, “Yeniden inşa edilecek yapıların bir bölümünde çelik malzemenin sağladığı üstünlükleri kullanmanın çok akılcı olacağı düşünülmektedir. Kısa vadede planlanan az katlı müstakil ya da apartman türündeki konutlar için çelik sistemlerden yararlanılabilir.” ifadesindeki teknik değil idari mülahazalarla yapılan “az katlı” sınırlaması çeliğin avantajlarından yararlanmayı da kısıtlamakta, ekonomiklikten uzaklaşmaya neden olabilmektedir. Raporda bahsedilen “geçici” ve “kalıcı” çelik yapıları şu dört grupta ele alınmalıdır:

- 6.3.1. **Çelik taşıyıcı sistemli yapılar.** Örnek çelik okul olarak İzmit'te hadde çelik profillerle ve kompozit döşeme kullanılarak yapılan Tevfik Seno Arda Anadolu Lisesi gibi sadece taşıyıcı sistemi çelik olan, bunun dışındaki yapı elemanları diğerlerinden farklı olmayan sistemlerdir. Bu sistem ile depreme karşı çeliğin süneklik (İng. ductility, Fr. ductilité), hafiflik (betonarme yapının yaklaşık 1/3 ilâ 1/2 oranında ağırlığa sahip) gibi özelliklerden yararlanılmaktadır.
- 6.3.2. **Çelik-beton karma (kompozit) yapılar.** Gerektiğinde taşıyıcı yapı elemanlarında çelik profiller ile beton birlikte kullanılarak betonun başınca karşı mukavemetinden yararlanılırken, çeliğin esnekliği kullanılarak daha narin kolon ve kirişler elde edilmektedir.
- 6.3.3. **Modüler Çelik yapılar.** Karayoluyla taşıma kolaylığı sağlamak üzere boyutlandırılan ve gerekli tüm inşaat unsurları (döşeme, bölme, doğrama, mekanik ve elektrik tesisatı, ıslak hacimler gibi) fabrika ortamında tamamlanan çelik modüllerden oluşan yapılardır. Raporda “Mimari bakımdan düzgün bir şekilde tasarlanmış modüler çelik sistemler deprem güvenliği ile birlikte işlevsellik ve estetik koşulları da sağlayacağından yeniden yapılaşmada (konutlar ve sosyal binalar) rahatlıkla tercih edilebilir. Modüler tasarım hızlı ve kaliteli üretimi de sağlayacaktır. Türkiye’de bulunan gerek hafif çelik gerekse yapısal çelik ürünlerinin üreticileri modüler yapım konusunda oldukça deneyimlidirler.” açıklaması yer almaktadır. Gerçekten de çelik modüller fabrika ortamında otomotiv sektöründe olduğu gibi süratle ve mükemmel bir kalite kontrol sistemiyle üretilebilmektedir. Sahada insan inisiyatifini ve insan hatalarını en az seviyeye indiren modüler çelik yapı

<sup>6</sup> İTÜ’nün 6 Şubat 2023 04.17 MW 7.8 Kahramanmaraş (Pazarcık, Türkoğlu), Hatay (Kırıkhan) ve 13.24 Mw 7.7 Kahramanmaraş (Elbistan / Nurhan-Çardak) Depremleri Nihai Raporu



sistemine ilgi ve talep, dünya ölçeğinde yüksek seviyededir ve süratle de artmaya devam etmektedir. Ülkemizde de bu konuda çalışmalar yapılmaktadır.

- 6.3.4. **Hafif çelik yapılar.** Bu soğuk şekil verilmiş çelik profillerden veya panellerden yapılan çelik yapılar, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 kapsamına alınan esaslar dahilinde yapılmaktadır. “Cold-formed steel profile” bir çeviri sonucu literatüre “Soğukta şekil verilmiş” olarak geçmiştir. Ancak, buradaki “Cold-formed” ortam sıcaklığını değil, “hot rolled = sıcak hadde” ifadesinde olduğu gibi proses türünü belirtmektedir. Dolayısıyla “Cold-forming = soğuk şekil verme” ekvator gibi sıcak ve Sibiryaya gibi soğuk ortamda da yapılabilir. Bu nedenle, Türk Yapısal Çelik Derneği on yıl kadar önce bu çeviri hatasının düzeltilmesini ilgili kamu makamları nezdinde istemeye başlamıştır. Sonradan yayımlanan bazı standartlarda / yayınlarda bu düzeltme yapılmaya başlanmıştır.
- 6.3.5. **Çelik-hafif çelik karma yapılar.** Hadde profiller ile soğuk şekil verilmiş çelik profillerin birlikte kullanıldığı yapılar ile ABD ve Kanada gibi ülkelerde 9 kata kadar (mid-rise) yapı çözümleri yapılmaktadır. Yanal yükler hadde profil çelik çerçevelere taşıtılırken, soğuk şekil verilmiş çelik profillerin düşey yüklerin taşınmasına katkısı hesaba katılmaktadır. Türk Yapısal Çelik Derneğinin 2011 yılındaki önerisi paralelinde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 için “Hafif Çelik Yapılar” bölümü hazırlanırken bu konu Hafif Çelik Yapılar Hazırlık Komisyonu tarafından teklif edilmiş ancak henüz hafif çelik yapılara ilişkin esasların dahi yeterince sindirilemediği o aşamada bu teklif hayata geçirilememiştir.
- 6.3.6. Raporda, öncelikle ele alınmış olan az katlı veya tek katlı konutların yanında, çelik taşıyıcı sistemli ve/veya modüler çok katlı yapıların da kamu yapıları, sanayi yapıları, ticari yapılar, sağlık yapıları, spor yapıları gibi yapı türleri açısından değerlendirilerek uygun sistem seçimlerinin göz önünde bulundurulmasına ihtiyaç vardır.

#### 6.4. Beklenen Değişimler

İTÜ'nün Deprem Raporu **Madde 3** (Yapısal Hasarların Değerlendirilmesi) 3.14 bendinde “06 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri İle Oluşan Yapısal Hasarlar ve Nedenleri” kapsamında “*Bölgede yaşanan yıkıcı şiddetli depremlerde oluşan yer ivmelerinin Doğu Anadolu Fay Hattı üzerinde beklenen ve tasarımda kullanılan etkin yer ivmesi değerlerinin çok çok üzerinde olması*” önemli nedenlerden biri olarak belirtilmiştir. Benzer bir açıklama 2.6 bendinde (Kuvvetli Yer Hareketlerinin 50 Yılda Aşılma Olasılığı %2 olan Deprem Tasarım İvme Spektrumu ile Karşılaştırması) “*Şubat 2023’de meydana gelen depremlerin en büyük yer ivme değerlerinin 1990’dan bugüne kadar meydana gelen başlıca depremlerin en büyük yer ivme değerlerinden önemli oranda büyük olduğu (Örneğin: 2023 Kahramanmaraş Depreminin en büyük yatay ve düşey yer ivme değerlerinin 1999 Kocaeli Depreminin en büyük yatay ve düşey yer ivme değerlerinden sırasıyla 3.5 ve 4 kat fazla olduğu) görülmektedir.*” ifadesi yer almaktadır. Bunun sonucunda üniversitelerin; bu depremde yaşanan ivmenin deprem tasarımı mühendislik hesaplarında nasıl ele alınacağı, yönetmelik ekindeki teknik açıklamalar bölümünde ve standartlarda değişiklik ihtiyacı olup olmadığı konusunda çalışmalar yaptığını inanıyoruz.

Kamu idareleri çoğunlukla Çelik Yapı denildiğinde, daha kolay olduğu için hafif çelik yapıları anlıyorlar. Oysa, deprem bölgelerindeki sanayi yapılarının gerek deprem dayanımı gerek ülke ekonomisine olan etkisi, diğer taraftan okul hastane gibi kamu yapıları ile birlikte konut amaçlı 4 kat ve üzeri yüksek yapıların yapılmasında da gerek ülke ekonomisi gerek icraatın süratlendirmesi, gerek sürdürülebilirlik açısından önemli yararlar olması nedeniyle hadde profillerle yapılan çelik taşıyıcı sistemlerin, hafif çelik yapıların, modüler çelik yapıların ve karma yapıların her birinin yerel koşullara bağlı olarak uygunluk değerlendirmesinin yapılmasının ve göz önünde bulundurulmasının gerekli olduğunu değerlendiriyoruz.

Yaşanan depremin ardından gerçekleştirilmekte olan yeniden yapılanma kapsamında, çelik yapıların yeterince kullanılmamasının nedenlerinin başında konunun müteahhitler ve karar vericiler tarafından yeterince bilinmemesi olduğu görülmektedir. Deprem dirençli yapılaşma konusunun, geçmiş depremin yaralarını sarma telaşı içinde değil, daha vizyoner bakış açısıyla bir devlet politikası haline getirilmesi şarttır. Bunu yaparken alışkanlıklardan ya da ön koşullanmışlıklardan arınmanın, yaşanan istatistikleri ve gerçekçi bilimsel verileri esas almanın kaçınılmaz zorunluluk olduğunu biliyoruz. Burada amaç şu malzeme veya bu malzeme, şu yöntem veya bu yöntemi kullananlara avantaj sağlamak değil, depremden dolayı insanların ölmemesini için en etkin, verimli, güvenli ve kaliteli çözümü sağlamak olmalıdır.

## 6.5. Deprem Bölgelerinde Sanayi Yapıları Neden Çelik Taşıyıcılı Olmalı

Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının görevlendirmesi sonucunda Türk Yapısal Çelik Derneği koordinasyonunda gerçekleştirilen çelik yapıların hasar tespit çalışmaları sırasında, çelik sanayi yapılarının deprem dayanımları yanında ekonomiye katkıları açısından da önemli bir tespitte bulunulmuştur. Betonarme ve ön germeli betonarme sanayi yapılarında bir kolonun çatlaması veya kırılması sonucu sanayi tesisi ağır hasarlı kabul edilmekte ve faaliyetleri durmaktadır. Oysa çelik yapılarda bir kolonun hasar alması çoğunlukla ağır hasar olarak değerlendirilmeyebileceği gibi, çelik yapı taşıyıcı elemanlarının değiştirilebilir ve/veya kolayca takviye edilebilir özelliğe sahip olması, ya da bir holde bahsedilen hasarın meydana gelmesi halinde çoğu kez binanın kalan kısımlarında faaliyete devam edilebilmektedir. Depremden sonra hayatın ve ekonominin canlandırılmasının ne kadar önemli olduğu son depremde bir kez daha görülmüştür. Bu özellikleri nedeniyle, deprem bölgelerindeki sanayi yapılarının ekonomik faaliyetin durmadan devam etmesine olanak sağlayan çelik taşıyıcı sistemli olması sağlanmalıdır.

## 6.6. Sürdürülebilir Yapılar

Kaynaklı çelik yapıların tasarımında sadece güvenli, estetik ve mali hususlar değil, aynı zamanda küresel ısınmaya karşı alınacak önlemler dahil sürdürülebilirlikle ilgili kriterler de göz önünde bulundurulmaktadır.

Olası bir deprem sonrası hasar gören binaların yıkılması, çıkan atıkların toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesi oldukça zahmetli ve zordur. Çelik binalar depremlerde daha az hasar görmeye birlikte olası bir hasar durumunda da rahatlıkla sökülerek taşınabilmekte, ekonomik değeri olan çelik, geri dönüşümle (up-recycling) kolaylıkla yeniden işlenerek orijinal ürün haline getirilebilmekte veya yapı elemanlarının tekrar kullanımı (reuse) suretiyle hem döngüsel ekonomiye kazandırılmakta hem CO<sub>2</sub> salımının azalmasına katkıda bulunmaktadır.

Bu kapsamda, yıkılacak ve yerine yenisi yapılacak binaların tasarımında TBDY-2018 ve Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelikle birlikte, kullanım ömrü sonunda sökülme ve uyarlanabilirlik esasına göre tasarlanmasını öngören ISO 20887<sup>7</sup> standardının kullanılması da uygun olacaktır. TUCSA buna paralel olarak, Binaların Yıkılması Hakkında Yönetmelik<sup>8</sup> için ISO 20887 paralelinde “Binaların Yıkılması ve Sökümü Hakkında Yönetmelik” olması için teklifte bulunmuştur.

Sürdürülebilirlik standartlarının hazırlanması safhasında yaşam döngüsü analizi kapsamında yıkım / söküm maliyetinin de eklenmesi talep edilmiş ancak sonunda Yıkım Söküm Safhası (**Modül D**) olarak ayrıca kapsanmıştır. Kullanım ömrü maliyetleri (KÖM) hesaplanırken çoğu kez binanın yaşam döngüsü sonrasındaki tekrar kullanım (reuse), ıslah (recovery), geri dönüşüm (recycling) ve elde edilen enerji (exported energy) alt süreçlerini kapsayan **Modül D** (Bina yaşam döngüsünün ötesindeki yararlar ve yükler) hesaplamaya dahil edilmez. Oysa bir tarafta nereye atacağımızı bilemediğimiz bir moloz, diğer tarafta ekonomik çok ciddi bir değeri olan hurda çelik söz konusudur.

Sürdürülebilir maliyet hesaplamalarında değer mühendisliğinin (value engineering) hesaba katılması önem arz etmektedir.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. İleride meydana gelecek depremlerde insanların ölmemesi, yapıların yıkılmaması için alınabilecek önlemler ve çözümler için ortak akılla ve tüm koşulları göz önünde bulundurularak doğru stratejiler geliştirilmeli, planlar yapılmalı ve sabırla uygulanmalıdır. Bu kapsamda şu hususların değerlendirilmesinde yarar vardır:

7.1.1. Çelik yapı kullanım oranları ortalama %5 civarından Fransa ve Almanya'daki gibi %30 oranına yükseltilmesi için üniversitelerin ve kamunun gerekli akademik ve idari çalışmaları yapılması,

<sup>7</sup> ISO 20887 (Sustainability in buildings and civil engineering works - Design for disassembly and adaptability - Principles, requirements and guidance)

<sup>8</sup> Binaların Yıkılması Hakkında Yönetmelik Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca hazırlanmış ve 13 Ekim 2021 tarih ve 31627 sayılı resmi gazetede yayımlanmıştır.

- 7.1.2. Deprem bölgelerindeki sanayi yapıları ile depremde kullanılmaya devam edecek hastane ve okul gibi kamu yapılarının çelik taşıyıcı sistemli olması,
- 7.1.3. Fay hattına 10 km mesafedeki tüm yapıların çelik taşıyıcı sistemli deprem dirençli yapı olması ve Özellik Arz Eden Binalar<sup>9</sup> kapsamına alınması,
- 7.1.4. Mevcut tüm sanayi yapılarının, idare tarafından belirlenecek bir takvime göre performans analizlerinin yaptırılması ve bunun farklı sanayi yapı türüne göre ruhsat yenilemesine esas olacak şekilde belirli periyotlarla tekrarlanması (örneğin 4 veya 6 yılda bir gibi) gerekli görülmektedir
- 7.2. **Mevzuat** çalışmaları kapsamında;
- 7.2.1. “Çelik Yapıların Hasar Tespiti ve Değerlendirmesi” konusunda; ağır ve orta hasar tanımlarını da içeren mevzuat hazırlanması (TUCSA tarafından Yapı İşleri Genel Müdürlüğü ile koordineli olarak taslak hazırlıklarına başlanmıştır),
- 7.2.2. Şantiyede yapılan yapılarda insan hataları riskinin fazla olması nedeniyle, fabrika ortamında daha uygun kalite kontrol ve denetime imkân veren şantiye dışı inşaat (off-site construction) uygulamasının mevzuatımızda da yer alması,
- 7.2.3. Şehirlerin yeniden imarı ve kentsel dönüşüm çalışmalarında çelik yapıların avantajlarından istifade edilmesi, yaşanan deneyim sonuçlarına istinaden; fay hattına 10 km mesafe içindeki yapılar, yumuşak/gevşek zemin ve belirli kat yüksekliğinin üzerindeki yapılar, kamu yapıları gibi belirli yapıların çelik taşıyıcı sistemli deprem dirençli yapı olması kuralı getirilmesi.
- 7.3. **Orta vadede** aşağıdaki önlemlerin alınması;
- 7.3.1. Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Başkanlığı koordinasyonunda Büyükşehir Belediyelerinin de katılımıyla devam eden envanter çalışmaları, zemin etütleri ve bina performans analizlerinin tamamlanması,
- 7.3.2. Çelik yapıların deprem hasar tespit ve değerlendirmelerinin uzman ekipler tarafından daha sağlıklı ve süratli yapılabilmesi için illerdeki çelik yapılar envanterinin çıkarılması ve ön planlama için TUCSA ile paylaşılması,
- 7.3.3. Deprem yönetmeliğinin (TBDY 2018) akademisyenler ve sektörde çalışan uzman mühendislerden oluşan karma komisyon tarafından geliştirilmesinin (hafif çelik yapıların kat sınırlamasının bilimsel yöntemlerle yeniden değerlendirilmesi, modüler çelik yapılar ve karma çelik yapıların ilavesi dahil) sağlanması,
- 7.3.4. Çelik yapılar konusunda ruhsat veren veya denetim yapan mühendislerin belirli eğitimleri almasının zorunlu hale getirilmesi, bu kişilerin yeterlilik belgesi almasının sağlanması,
- 7.3.5. Kamu eliyle yaptırılan yapılardan başlanılarak, büyük ölçekteki yerleşkeler için çelik yapı mimari ve mühendislik projelerinin bu konuda deneyimli mühendislere hazırlatılarak deneyimli uygulama ekipleri vasıtasıyla hayata geçirilmesi sağlanırken, bir yandan da eğitimler ve deneyimli ekiplerle yeni ekiplerin birlikte çalışması sağlanarak çelik yapılar alanındaki deneyimin daha geniş kitlelere yayılmasının sağlanması,
- 7.3.6. Çelik yapıların detay çözümlerinin, yapı fiziği problemlerinin bütünsel bir bakış açısı ile titizlikle tasarlanması ve uygulanması zorunluluğunun bu yapıların kalitesini sağlamak bakımından önemi sebebiyle, proje sahipliği ve müteahhitlik rollerinin ayrıştırılması yoluyla daha etkin bir imalat denetiminin sağlanması gerekli görülmektedir.
- 7.4. **Uzun vadede** sonuçlarını hemen alamayacağımız ama derhal uygulamaya başlanmasında yarar gördüğümüz işlemler;
- 7.4.1. Fay hatlarının belirli bir mesafesinde ve sel, çığ ve tsunami riski olan bölgelerde yapılaşmaya izin verilmemesi, bu alanda zorunlu olarak yapılacak her yapının ilgili yönetmelik uyarınca Özellik Arz Eden Bina statüsünde gözetim ve denetiminin yapılmasının sağlanması,
- 7.4.2. Çeliğin avantajlarının daha yaygın ve etkin kullanımı için; ABD ve Japonya’da neden çelik yapılara öncelik verildiğinin araştırılmasına ve çelik yapılar konusunda öne çıkmış ülkelerle eğitim konusunda işbirlikleri yapılması,
- 7.4.3. Üniversiteler de dahil olmak üzere eğitimin her kademesinde, iş etiği konusunun öncelikli olarak ele alınması gerekli görülmektedir.

---

<sup>9</sup> Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 28 Eylül 2022 tarih ve 31967 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan “Özellik Arz Eden Binaların Tasarım Gözetimi ve Kontrolü Hizmetlerine Dair Yönetmelik”

## KAYNAKÇA

1. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremeleri Sonucu Oluşan Yapısal Hasarlara İlişkin Gözlem ve Değerlendirme Raporu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 9 Ekim 2023.
2. 2023 Kahramanmaraş and Hatay Earthquakes Report, Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Mart 2023
3. 6306 Sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun, 6306 sayılı kanunun Ek-2 (Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar),
4. 7269 Sayılı Umumi Hayata Müessir Afetler Dolayısıyla Alınacak Tedbirlere ve Yapılacak Yardımlara Dair Kanun (özellikle Madde 13-a ve 13-b),
5. AFAD Başkanlığının 14.04.2014 tarihli Hasar Tespit Genelgesi
6. Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, Deprem Verileri, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-verileri/yillik-deprem-haritalari/> (01.11.2023 tarihli erişim)
7. C. del Castillo, Çelik Yenden Kullanım ve Döngüsel Ekonomi, Çelik Yapılar Dergisi Sayı 83 (Temmuz-Ağustos 2023), [https://tuksa.org/images/celik\\_yapilar/85/83\\_celik\\_yapilar.pdf](https://tuksa.org/images/celik_yapilar/85/83_celik_yapilar.pdf)
8. Deprem ve Kentsel Dönüşümde çelik yapılar Etüdü 2017, <https://tuksa.org/tr/yayinlar.aspx?yayin=3>
9. P. Hradil, L. Fülöp & M. Wahlström VTT Technical Research Centre of Finland Ltd. ve C. del Castillo, European Convention for Constructional Steelwork, Brüksel, Belçika Teknik Makale “The new construction products regulation: Opportunity or barrier for reused constructional steel?”
10. TAMP Türkiye Afet Müdahale Planı

# DEPREMİN ÇELİK YAPILAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ VE 6 ŞUBAT 2023 DEPREMİ SONRASI YAPILAN HASAR TESPİT ÇALIŞMALARI

[Bu makale Uluslararası Katılımlı Kaynak Teknolojisi 13. Ulusal Kongre ve Sergisi için yazılmıştır.]

*Aslıhan Algül Bulduk*

İnşaat Yüksek ve Kaynak Mühendisi

+90 545 338 7837  
aslihanagl@gmail.com

*Sedat Konuklu*

Endüstri ve Kaynak Mühendisi

+90 533 559 3686  
sedat@adya.com.tr

Ekim 2023

## ÖZET

Bu makale, yapı çeliğinin özelliklerini, kullanım alanlarını ve avantajlarını, çelik yapıların deprem etkisi altında göstermiş olduğu davranışları ve yapı tasarım aşamalarını incelemektedir. 6 Şubat 2023 depremi sonrası yapılan çelik yapılardaki hasar tespit çalışmaları çelik yapıların tasarım ve imalat aşamalarında ciddi problemler olduğunu gözler önüne sermiştir. Kaynaklı çelik yapılarda meydana gelen kaynak hatalarının deprem anında yapının çökmesine, can kayıplarına sebep olacağı açıkça görülmektedir. Türkiye'nin jeolojik yapısı itibariyle bir deprem ülkesi olduğu unutulmamalı, çelik yapıların ve birleşim detayı tasarımlarının ilgili yönetmeliklere uygun ve standartlar dahilinde en doğru şekilde ve bu doğru tasarımın kaliteli işçilikle birleştirilerek yapılması amaçlanmalıdır. Yapılan tasarımlardaki kaynak izlenebilirliği, hataların tespit edilmesi ve giderilmesi yapının yük aktarımı için en önemli kriterdir.

## ANAHTAR KELİMELER

Çelik Yapılar, Yapı Tasarımı, Deprem, Kaynak Hataları

## ABSTRACT

In this article, the properties, usage areas and advantages of structural steel, the behavior of steel structures during earthquakes and building design stages are examined. Damage assessment studies on steel structures carried out after the February 6, 2023 earthquake revealed that there were serious problems in the design and manufacturing stages of steel structures. It is clearly seen that welding errors occurring in welded steel structures will cause the structure to collapse and cause loss of life during an earthquake. It should not be forgotten that Turkey is an earthquake country due to its geological features, and it should be aimed to make steel structures and connection detail designs in the most accurate way, in accordance with the relevant regulations and within the standards, and by combining this correct design with quality workmanship. Control of welding, detection and elimination of welding defects in the designs are the most important criteria for the load transfer of the structure.

## KEYWORDS

Steel Structure, Structure Design, Earthquake, Weld Defects



## 1.ÇELİK YAPILAR

Çelik malzemelerin yapısından bahsedecek olursak; yalnızca demir ve karbon olarak iki elementin alaşımından oluşması nedeniyle çelikler, sınırlı yapısal özelliklere sahiptir. Bu nedenle kullanım alanlarını genişletmek ve kullanım avantajlarını arttırmak maksadıyla çelik malzemelere, muhteviyatında bulunan karbon elementiyle bazı elementlerin alaşımılması sonucu birtakım özellikler kazandırılabilir. Örneğin, Molibden (Mo) elementi ile karbonun alaşımılması neticesinde çeliklerin, akma ve çekme dayanımı arttırabilir. Yine aynı şekilde Mangan (Mn) elementi de çeliğin dayanımını arttıran etki gösterir. Bunun yanında sertleşebilme ve kaynak kabiliyetini de arttırır.

Çelikler kullanım yerlerine veya özelliklerine göre çeşitli şekilde sınıflandırılır. Kullanım alanlarına göre;

- Kalitesiz yumuşak çelikler
- Kolay kaynak çelikleri
- Yapı çelikleri
- İmalat çelikleri
- Otomat çelikleri vb. şeklinde sınıflandırılır.

Yapı çelikleri, dünya genelinde altyapı, üstyapı, konut ve inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılır. Kullanım alanının fazla olması sebebiyle üretimi diğer çelik ürünlerine nazaran daha yoğundur ve bundan dolayı yapı çelikleri, bulunabilirliği kolay olan ürünlerdir.

Yapı çeliklerinin kullanımındaki avantajlar;

- Yüksek mukavemet/ağırlık oranı
- Homojen, izotrop ve akma gerilmesinin altından doğrusal elastik
- Çekme ve basınç yükleri etkisinde aynı mekanik özellikler
- Süneklik ve yüksek enerji yutma kapasitesi
- Hafif yapılar elde etme imkanı
- Kolay işlenebilirlik
- Dayanıklılık
- Hurda değeri

Dezavantajlar ise;

- Korozyon önleme maliyeti
- Yangına karşı dayanım maliyeti
- İzolasyon maliyeti
- Yorulma ve kırılma olarak özetlenebilir.

Çelik konstrüksiyon yapıların kullanım alanına değinecek olursak; Çok katlı yapılar, sanayi yapıları, sosyal yapılar, köprüler, kren kirişleri depo ve tesisler gibi birçok farklı alanda kullanılırlar.

## 2.ÇELİK YAPILARIN TASARIMI

### 2.1 Yapı Tasarımı

Yapı tasarımı yapılırken, istenilen mimariye uygun olacak şekilde ön tasarımı yapılır. Yapı mühendisi, yapı elemanlarını ve taşıyıcı sistemi göz önüne alarak ön boyutlandırma hesabı yapar. Ön boyutlandırma hesabı sonrası oluşan ön tasarım, projenin onaylanması açısından hem proje mimarisini hem de proje maliyetini belirlemiş olur. Yapılan ön tasarım onaylandıktan sonra malzeme tedarik işlemleri, imalat ve montaj aşamasına geçilir. Malzemelerin sevk edilebilir ve montajlanabilir ebatlarda üretilmesi gerekir.

Yapının; bulunduğu konum, zemin sınıfı, maruz kaldığı yükler (rüzgar yükü, sismik yükler, ölü yükler vb.) ve boyutu gibi etkenler tasarımı etkiler. Çelik yapılar tasarlanırken, yapı tasarımında kullanılacak olan çelik için çekme deneyi ile elde edilmiş olan akma gerilmesi ve çekme dayanımı değerleri kullanılır.

Çelik yapılar yönetmeliğinde tasarım prensipleri bölümünde sınır durumlar net bir şekilde mevcuttur. 'Çelik yapı elemanları ve birleşimlerinin tasarımı, yapının işletme ömrü boyunca kendinden beklenen tüm fonksiyonları,

belirli bir güvenlik altında yerine getirebilecek düzeyde dayanım, kararlılık (stabilite) ve rijitliğe sahip olacak şekilde dayanım ve kullanılabilirlik sınır durumları esas alınarak gerçekleştirilecektir.’ Yapının deprem etkisindeyken dayanımı yüksek, rijit ve sünek bir davranış göstermesi gerekir.

Çelik yapının maruz kaldığı deprem yükü (sismik yük) eğer tasarımda öngörülen yükü geçerse, yapıda oluşacak olan hasarın yapı statüğünü hayati derecede etkilemeyecek elemanlarda oluşması sağlanmalıdır. Yapı statüğünün bozulmasına ve yapının ağır hasar almasına sebep olacak kritik yapı elemanlarında hasar oluşumunun önlenmesi esastır. Bu elemanların sismik kuvvete maruz kalması dahilinde yapıda sünek davranışın sağlanması, gevrek davranıştan kaçınılması elzemdir.

Depreme dayanıklı yapı sistemlerinin tasarımında performansa göre tasarım ve dayanıma göre tasarım olarak iki farklı yaklaşım yolu izlenir. Dayanıma göre tasarımda yapı sistemine etki etmesi öngörülen deprem kuvvetinin 50 yılda aşılma olasılığı yüzde 10, tekrarlanma periyodu ise 475 yıl olarak doğrusal-elastik teoriye göre hesaplanıp, taşıyıcı sistemin doğrusal olmayan davranışının tasarıma etkileri deprem yönetmeliği kuralları çerçevesinde incelenir.

Yapılar deprem sonrası kullanım amacına ve insan yoğunluğuna göre sınıflandırılır. Bina kullanım sınıfı ve bina önem katsayısı yönetmelik kapsamında belirlenir (TBDY 2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) ve Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği kullanılarak çelik yapı tasarımı yapılır.

Çelik yapı elemanı tasarımı tamamlandıktan sonra sistemin birleşim detayı hesaplarının yapılması gerekir.

## **2.2 Birleşim Detayı Tasarımı**

Çelik yapıların birleşim detaylarını 3 ana başlık altında inceleyebiliriz.

### **2.2.1 Perçinler**

Perçinli birleşimler diğer birleşim detaylarının ortaya çıkmasıyla tercih edilebilirliğini kaybetmiştir. Perçin uygulaması ciddi derecede kalifiye işçilik isteyen ve uygulama esnasında daha fazla kontrol ve dikkat gerektiren bir uygulama çeşididir.

### **2.2.2 Bulonlar**

Montaj aşamasında sağladığı avantajlar nedeniyle sık kullanılan birleşim detayıdır. Montajda hız kazandırmakla birlikte, işçi hatalarını minimuma indirir. İş sağlığı ve güvenliği açısından yüksek yapılarda kolaylık sağlar. Bulonlu birleşimlerin çoğu atölye içerisinde kaynaklı bir ön çalışma sonucu oluşur. İki temel bulon tipi vardır; Normal bulonlar ve yüksek dayanımlı bulonlar. Çelik yapılarda en yaygın kullanılan bulonlar yüksek dayanımlı bulonlardır.

### **2.2.3 Kaynaklı Birleşimler**

Kaynak bir dolgu metali ile veya dolgu metali kullanmadan iki farklı çelik elemanın ısıtılarak birleştirilmesi işlemidir. Çelik yapılardaki birleşimler genelde hem kaynak hem de bulon içerirler. Kaynaklı birleşimler bulonlu birleşimlere kıyasla; kolay uygulanabilirlik, hata oranının az olması, daha az malzeme ve yer kullanımı, daha rijit olması ve estetik açıdan avantajlı olsa da, yetenekli iş gücü gerektirmesi, imalat süresinin daha uzun olması, artan işçilik sebebiyle daha fazla maliyet ve kapsamlı kontrol gerektirmesi açısından da dezavantajlı olabilir.

Ön görülen bağlantı detaylarında plaka kalınlığı, civata çeşidi, ebadı ve miktarı, kaynak kalınlığı ve uzunluğu belirlenerek birleşim detayı netleştirilir.

## **3. DEPREM ETKİSİ**

### **3.1 Deprem**

Deprem yer kabuğunda ortaya çıkan enerjinin sismik dalgalar aracılığıyla yayılması ve yer kabuğunu yine bu enerjinin şiddeti oranında sarsması olayıdır. İnşaat mühendisliği açısından ele alacak olursak deprem, yeryüzündeki yapılara kuvvet uygulanması sonucu yapıların zarar görmesi olarak düşünülür. Tabi ki bu yanlış bir düşüncedir. Yer kabuğunda ortaya çıkan enerjinin sismik dalgalar yoluyla yayılması neticesinde yer kabuğunda salınım meydana gelir. Yapılar, bu salınım esnasında hareket etmemeye, deprem öncesindeki vaziyetini korumaya

çalışırlar. Yani deprem esnasında yapılara kuvvet uygulanmasından ziyade yapıların eylemsizlik prensibi içerisinde davranış sergilediğinden bahsedilebilir.

### 3.2 Türkiye’de deprem

Türkiye coğrafi konumu ve jeolojik yapısı nedeniyle ülkenin neredeyse tamamında deprem riski yaratan büyük fay hatlarına sahiptir. Türkiye’de bulunan en önemli fay hatları şunlardır;

#### 3.2.1 Kuzey Anadolu Fay Hattı

Marmara Denizi’nden başlayarak Karadeniz’e kadar uzanan bu fay hattı üzerinde son 100 yıl içerisinde 7 büyük deprem meydana gelmiştir. Bu fay hattı İstanbul başta olmak üzere birçok büyük şehirde yüksek riskli bölgeler oluşturmaktadır.

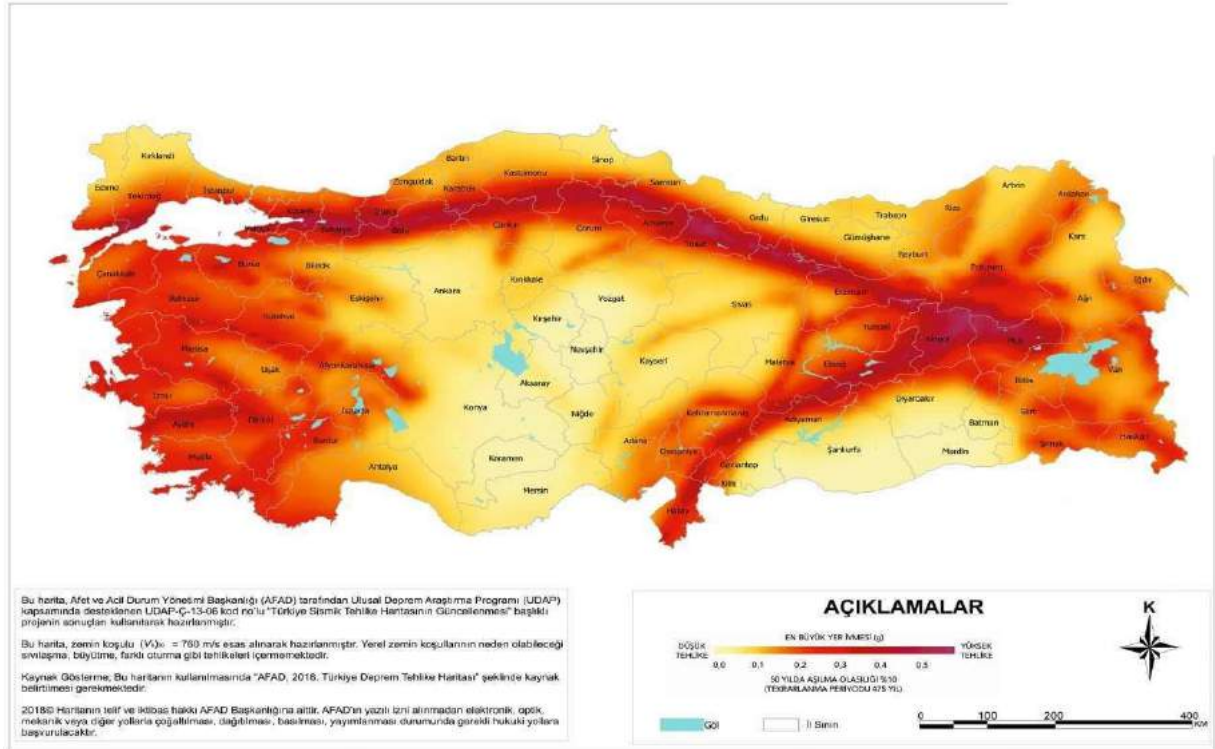
#### 3.2.2 Doğu Anadolu Fay Hattı

Türkiye’nin doğusu ve güneydoğusu arasında uzanan bu fay hattı üzerinde 1983’ten bu yana 6 büyük deprem meydana gelmiştir. Son olarak yaşanan 6 Şubat 2023 depremi bu depremlerin en büyüğü olmuştur.

#### 3.2.3 Batı Anadolu Fay Hattı

Türkiye’nin batısında Ege Denizi boyunca aktif olan bu fay hattı üzerinde en son hatırlanan deprem 30 Ekim 2020 İzmir depremidir ve büyük yıkıma yol açmıştır.

Türkiye’de bulunan bu fay hatları üzerinde bulunan veya yakın olan bölgeler şiddetlice sarsılırken, fay hatlarına uzak olan bölgeler daha az etkilenirler ya da hiç etkilenmezler. Ülkemiz 5 en yüksek 1 en düşük riskli bölge olacak şekilde şekil-1 de gösterilen 5 deprem kuşağına ayrılmıştır.



Şekil.1 Türkiye Deprem Haritası

### 3.3. Sismik İzolatör ve Enerji Sönümleyiciler

Bir yapı tasarlanırken depreme maruz kaldığında ağır hasar olsa dahi yıkılmaması ve bu şekilde can kaybının olmaması beklenir. Bu gibi yapılar depremden sonra işlevselliğini yitirecek ve kullanılamayacaktır. Ancak deprem esnasında yüzlerce insanı içinde barındırması muhtemel olan ve deprem sonrasında ise yoğun şekilde kullanılacak okul, fabrika ve hastane gibi yapıların sadece yıkılmaması yetmez, depremden sonra da işlevine devam etmesi gerekir. Bunlar gibi kritik yapılarda deprem esnasında zeminden yapıya iletilen titreşimleri sönümleyen sismik izolasyon yöntemi kullanılabilir. Sismik izolatörler ve enerji sönümleyiciler kullanılarak yeni yapılacak binalarda depremden dolayı oluşacak hasarlar, kat ötelemeleri, yapıca oluşacak deplasmanlar minimum seviyeye indirilebilir.

Bir yapının depreme karşı gösterdiği tepki yapının doğal periyodu ile doğrudan ilişkilidir. Doğal periyod, yapının yüklerden bağımsız kütle, rijitlik ve sönümlenme gibi doğal özellikleridir. Sismik izolatörler bu kapsamda yapının sönümlemesini yani doğal periyodunu arttırarak depremin oluşturduğu kuvvetle çakışmasını önleyecek, bundan dolayı meydana gelecek ivme artışını ve oluşacak hasarı engelleyecektir.

## 4. 6 ŞUBAT 2023 DEPREMİ SONRASI DEPREM BÖLGESİNDE YAPILAN HASAR TESPİT ÇALIŞMALARI

6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen ve 10 ili etkileyen 7.7 ve 7.6 şiddetlerindeki depremler çok sayıda can ve mal kaybına yol açmıştır. Ülkemizin deprem ülkesi olduğu her deprem sonrası hatırlanıp bir süre sonra unutulmaktadır. Deprem sonrası yapılan hasar tespit çalışmaları bu durumu bir kez daha gözler önüne sermiştir. Çelik yapılar ile alakalı; tasarımsal yapı ve birleşim detayı hataları, kaynaklı birleşim detaylarında ise yetersiz ergime, nüfuziyet eksiklikleri, çatlaklar tespit edilmiştir.

### 4.1 Tasarımsal Yapı ve Birleşim Detayı Hataları

Deprem sonrası yapılan çalışmalarda kritik yapı elemanlarında ve birleşim detaylarında hasar oluşumu gözlemlenmiştir. Birleşim detaylarının çoğunda; süreklilik levhasının kullanılmamasından kaynaklı burkulmalar meydana gelmiştir. (Şekil.2)



Şekil.2 Çelik Yapıda Tasarımsal Birleşim Detayı Hatası

Kritik yapı elemanlarında ise; kolon yönünün yanlış kullanılmasından kaynaklı ciddi hasarlar mevcuttur. (Şekil.3) Bu tarz yapılarda stabilite tasarımı önem kazanmaktadır. Yapının daha rijit bir davranış göstermesi adına zayıf yönde çaprazlamalar gerekebilir.



**Şekil.3 Deprem Etkisinde Kritik Elemanlarda Hasar Oluşumu**

Yapı Mühendisi olarak; depremin yer kabuğunda oluşturduğu sismik dalgaları ivme olarak ölçeriz. İvme yapının kütlelerine etki ettiği için kuvvet olarak etkiyecektir. Yapının sahip olduğu atalet dayanımının bu kuvvetlere yeterli dayanımı göstermesi gerekir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) ve Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliğine göre tasarım yapmanın zorunluluğunu açıkça görülmektedir. TBDY (2018)' de moment aktaran birleşimlerle ilgili kıstaslar ve sınırlamalar mevcuttur. Yapı tasarımı ve detay birleşimleri yapılırken kullanılması zorunludur.

## **4.2 Kaynak Hataları**

### **4.2.1 Çatlaklar**

En dikkat edilmesi gereken kaynak hatasıdır. Ergitme kaynağında; ana metalde, kaynak metalinde veya ısıdan etkilenen bölgelerde ortaya çıkabilir. Kaynak dikişinin kalınlığının yetersizliği ve etkiyen kuvvetlere yetersizliği deprem anında çatlaklara sebep olur. (Şekil.4)





**Şekil.4 Deprem Etkisinde Meydana Gelen Çatlak**

#### **4.2.2 Yanma Oluğu**

Ana malzeme ile kaynak metali arasında oluşan oluk ve çentiklerdir. Yüksek akım(amper) şiddeti ile çalışma, yanlış elektrod hareketleri, ark mesafesinin yüksek olması, kaynak hızının düşük olması ve elektrod ebadının uygun olmaması ana malzeme ile kaynak metalinin kaynak esnasında aşırı ısınmasına ve yanma oluğu oluşmasına neden olur. (Şekil.4)

#### **4.2.3 Kalıntılar**

Kalıntılar; İstenmeyen katı maddelerin kaynak metali içinde kalması sonucu oluşur. Örnek olarak; cüruf, toz, oksit vs. kalıntılar. Cürufun kaynak banyosunun önünde ilerlemesi, cüruf temizliğinin düzgün ve yeterli yapılmaması, keskin köşeli kaynak dikişleri kalıntılara sebep olur. (Şekil.4)

#### **4.2.5 Sıçramalar**

Kaynak metali ve ana metal üzerine sıçrayan ergimiş metalin yapışması sonucu oluşan durumdur. Kaynak amperi veya ark boyu yüksekliğinden, ark üflemesinden kaynaklanabilir. (Şekil.4)

#### **4.2.7 Çarpılmalar**

Kaynaklı birleşim yapılan metallerin soğuması esnasında oluşan eksen kaçmalarıdır. Tasarıma uygun elektrod tercih edilmemesi, malzemelerin sabitlendiği noktaların yetersizliği, kaynak sırası uygunsuzluğu çarpılmalara sebep olur. (Şekil.4)

#### **4.2.4 Gözenekler**

Gözenekler; kaynak esnasında meydana gelen gazların kaynak dikişine hapsolmesi veya tam kaynak yüzeyindeyken katılaşması sonucunda meydana gelirler. (Şekil.4) Rutubetli sarf malzeme kullanımı, ana malzemelerin yağlı, kirli, paslı veya nemli olması, kullanılan gaz çeşidi veya debisi ve yanlış kaynak ağızları kullanımları gözeneklere sebep olur.





**Şekil.4 Kaynakta Gözenekler, Yanma Oluğu, Sıçramalar, Kalıntılar, Çarpılmalar**

#### 4.2.6 Yetersiz Ergime ve Yetersiz Nüfuziyet

Kaynak metali ile ana metal veya kaynak pasoları arasında oluşan yetersiz birleşmelerdir. (Şekil.5)



**Şekil.5 Boru Ek Kaynağı Yetersiz Ergime ve Nüfuziyet**

Düşük ısı girdisi sebebiyle oluşan ergime ve nüfuziyet yetersizliği; birleşim detayı tasarımının yanlış olması durumuyla birleşince kritik yapı elemanlarının deprem anında yapının karşılaması gereken kuvvetlere maruz kalması yüksek oranda can ve mal kayıplarına yol açabilir. (Şekil.6)



**Şekil.6 Kolon-Kiriş Birleşimi Yetersiz Ergime ve Nüfuziyet**

## 5. KAYNAK KALİTESİ VE DENETİMİ

Yapılan incelemeler, kaynaklı çelik yapılar için kaynak kalitesinin ve denetiminin hayati önem taşıdığını göstermektedir. Kaynaklardaki denetimsizlik önemli bir sorun olarak öne çıkmıştır. Yapılan inceleme sonucunda, yetersiz ergime ve yetersiz nüfuziyet, gözenekler, yanma olukları, çatlaklardan kaynaklı kaynak yırtılmaları önemli hatalar olarak tespit edilmiştir. Kaynaklarda yapılan bu hataların, çelik yapının performansını olumsuz etkilediğini göstermiştir. Kaynakların kalitesiz olması, deprem anında çelik yapının dayanıklılığını azaltabilir ve yapıya zarar verebilir. Çelik yapılarda tasarımsal ve imalat kaynaklı hataların önüne geçebilmek için doğru tasarımın kaliteli işçilikle uygulanması gerekir. Tasarım ve imalat uygulama aşamasını belirleyen standartlar bulunmaktadır. Firmaların standartlar kapsamında iş yapması; yapının depreme karşı olan performansını ciddi derecede artırır.

Kaynakların uygun prosedürler ve kodlar uyarınca teşkil edilmesi ve denetlenmesi büyük bir öneme sahiptir. Bu bağlamda; imalat ve saha montaj uygulamalarında ISO 3834 serisi “Kaynaklı İmalata Yeterlilik” için Kalite seviyelerine yönelik sistem gerekliliklerinin uygulanması kaynak kalitesini ve yapısal çelik ürünlerin kalitesini artırmak için tercih edilebilir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığının yayınlamış olduğu 305/2011 Yapı Malzemeleri Yönetmeliği kapsamında çelik yapılarda CE işaretlemesi zorunluluğu vardır. Bu yönetmelik gereği çelik imalatı yapan firmaların “EN 1090 Çelik ve Alüminyum Yapı Uygulamaları” standartlarına uygun hareket etmeleri ve bu belgeye sahip olmaları gerekmektedir.

Bu kodlar dışında ülkemizde kullanılan AWS D1.1 Structural Welding Code-Steel gibi uluslararası standartlara göre yapısal çelik ürünler için imalat, montaj, kontrol, montaj süreçlerine ait genel işleyiş takip edilebilir.

EN 1090 veya AWS D1.1 standartlarında üretim yapılması tasarlanan yapının işçi veya kaynak hatalarından kaynaklı imalat ve montaj hatalarını belirli sınırlar içerisinde minimuma indirerek tasarlanan yapının deprem yükleri altında tam performans çalışmasını sağlar.

## 6. SONUÇ

Kaynaklı çelik yapılar, deprem dayanıklılığı açısından önemli avantajlara sahip olmalarına rağmen, doğru tasarım, inşaat ve kaynak denetimi süreçlerinin eksiksiz bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Maraş Depremi, kaynakların önemini ve bu alandaki denetim mekanizmalarının sağlamlığını bir kez daha vurgulamıştır. Kaynaklı çelik yapıların depreme dayanıklılığını artırmak, sadece yapılarımızı değil, aynı zamanda yaşamlarımızı da koruma açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle, çelik yapılarla ilgili kalite standartlarına ve denetim prosedürlerine uyum büyük bir önem taşır.

## KAYNAKLAR

AGHAYERE, A. Ve VIGIL, J. (2018), *Structural Steel Design: A Practice-Oriented Approach*, London: Pearson Education/Prentice Hall.

ANIK, A. (2020), *Kaynak Tekniği El Kitabı*, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü

KÖSE, M. (2019), *İnşaat Mühendisliği Açısından Deprem*, 28 Ekim 2023 tarihinde <https://www.sanalsantiye.com/insaat-muhendisligi-acisindan-deprem/> adresinden alındı.

ÖZER, E. (2015), *Depreme Dayanıklı Çelik Bina Tasarımının Temel İlkeleri ve Yeni Türk Deprem Yönetmeliği*, 27 Ekim 2023 tarihinde [https://eski.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/17731\\_12\\_38.pdf](https://eski.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/17731_12_38.pdf) adresinden alındı.

TBDY (2018), *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

(2018), *Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

# **ÇELİK TAŞIYICILI ÜST YAPI VE ALTYAPILARDA GELİŞEN KAYNAK TEKNOLOJİLERİ VE YORULMA ETKİSİNE KARŞI GÜVENİRLİK**

[Bu makale Uluslararası Katılımlı Kaynak Teknolojisi 13. Ulusal Kongre ve Sergisi için yazılmıştır.]

*İlker Ergün*

Makina ve Kaynak Mühendisi, Danışman, Denetçi

+90 537 744 77 94  
ilker@ilkerergun.com.tr  
<http://www.ilkerergun.com.tr>

Eylül 2023

## ÖZET

İnşaat sektörü ya da inşaat dediğimizde aklımıza ilk gelen malzeme betondur. Ancak geçilmesi zor açıklıklar, yüksek binalar, endüstriyel tesisler ve spor kompleksleri gibi yapılar ön plana çıktığında aklımıza hemen çelik gelir. Bugün yaşadığımız deprem gibi acı deneyimler sonucunda, tekniğine uygun inşa edilmeyen hiçbir yapının doğaya karşı ayakta kalamayacağını gördük. Özellikle betonarme ve çelik binaları karşılaştırdığımızda çelik yapıların tekrarlanan yüklere karşı daha dayanıklı olduğunu, çelik malzemenin yükler altında kırılmadan önce belli bir miktar esneyebildiğini, hem çekme hem de basma yüklerine karşı benzer dirence sahip olduğunu görüyoruz.

Çelik yapı sektörü, gelişen kaynak teknikleri, çelik yapı ve kaynak standartları, yerel imkanlarla ulaşılabilen uzman tasarım ekipleri, sertifikalı üreticiler ve akredite muayene kuruluşlarıyla gelişmeye devam ediyor. Bu nedenle doğru şekilde üretilen ve montajı yapılan bir çelik bina, deprem gibi doğal afetler karşısında betonarme binalara göre daha esnek bir davranış göstererek kayıplarımızı her açıdan azaltacaktır.

## ANAHTAR KELİMELER

Çelik, beton, yapı, bina, kaynak, sismik, yorulma, kırılma

## ABSTRACT

When we say construction industry or construction, the first material that comes to our mind is concrete. However, when structures such as difficult-to-pass openings, high-rise buildings, industrial facilities and sports complexes come to the fore, we immediately think of steel. As a result of painful experiences such as the earthquake we experienced today, we have seen that no structure that is not built according to its technique can survive against nature. Especially when we compare reinforced concrete and steel buildings, we see that steel structures are more resistant to repeated loads, that steel material can stretch a certain amount before breaking under loads, and that it has similar resistance to both tensile and compression loads.

The steel structure industry continues to develop with developing welding techniques, steel structure and welding standards, expert design teams accessible through local means, certified manufacturers and accredited inspection bodies. For this reason, a steel building that is produced and assembled correctly will reduce our losses in every aspect by showing a more flexible behavior than concrete buildings in the face of natural disasters such as earthquakes.

## KEYWORDS

steel, concrete, structure, building, welding, seismic, fatigue, fracture

## 1. KAYNAK TEKNOLOJİLERİNİN YAPI İNŞAATINDAKİ ROLÜ

Kaynak, yapı işlerinde kullanılan çelik, alüminyum gibi metalleri birbirine bağlamak için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Kaynak dışında cıvata, perçin, lehimleme, yapıştırma gibi diğer bağlantı yöntemleri de metalleri birbirine bağlamak için kullanılabilir. Ancak cıvata ve perçinli bağlantılar için iki plakanın üst üste bindirilmesi, önceden uygun şekilde deliklerin delinmiş olması ve ilave bağlantı malzemeleri kullanılması gerekmektedir. Lehimleme ve yapıştırma tekniklerinde ise yine iki plakanın üst üste yeterli miktarda bindirilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan kaynak uygulamaları üst üste bindirme gereksiz iki parçayı birbirine kalıcı olarak bağlayabilmektedir. Bu nedenle farklı geometrik şekillerdeki parçaların birbirine paralel, dik veya açılı şekillerde bağlantısı kaynak ile mümkün olabilmektedir. Kaynaklı bağlantılar, ekonomiklikleri, az miktarda ön hazırlık gereksinimi, hızlı ve kalıcı uygulama imkanları nedeniyle yapı ve makina sektörlerinde sıklıkla tercih edilmektedir.

Özellikle atölyede yapılan kaynak işleri için oldukça fazla kaynak yöntemi bulunmakta ve kullanılmaktadır. Bu nedenle malzeme cinsi, kalitesi, bağlantı tipi ve beklenen kaynak kalitesine uygun kaynak yöntemi seçilebilmektedir. Metal malzemeler ve metalik kaynaklar yapıların rüzgar, kar gibi olağan yüklerinin yanında deprem gibi beklenmedik ve ani yüklere karşı da esneklik gösterirler. Uygun şekilde tasarlanmış ve uygulanmış bir kaynaklı bağlantı ana metal kadar esneklik göstererek yükler karşısında yapının kırılmasını önlemektedir. Bu duruma örnek olarak sıklıkla kaynaklı birleştirmeler kullanılan gökdelenleri, asma köprüleri ve rüzgar enerjisi kulelerini göstermek mümkündür.

Mevcut kaynak teknolojileri farklı tipte ve kalitede metallerin birleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu durum tasarım esnekliği ve yapının farklı bölgelerine amaca uygun özellikler kazandırmak için kullanılabilir. Ancak mevcut yapı projelerine baktığımızda genellikle benzer tipte malzemelerin kullanılarak tasarımların yapıldığını görmekteyiz. Sektörde kolay temin edilebilen ve ekonomik olan metalik yapı bileşeni olarak karşımıza yine farklı kaliteleri bulunan çelik çıkmaktadır. Çelik, ülkemizde de üretimi bulunan, temini, taşınması, işlenmesi kolay olan bir yapı malzemesidir. “EN 10025 Sıcak haddelenmiş yapı çelikleri”, “EN 10210 Yapısal çelik profiller - Sıcak haddelenmiş içi boş alaşımsız ve ince taneli yapı çeliklerinden” ve “EN 10219 Yapısal çelik borular - Dikişli, alaşımsız, ince taneli çeliklerden soğuk şekillendirilerek kaynak edilmiş” standartlarında ve muadil diğer ülke ve bölgesel standartlarda ürünler sıklıkla yapı projelerinde kullanılmaktadır.

İmalatta kullanılabilen otomatik kaynak sistemleri, üretimin büyük kısmını atölye ortamında gerçekleştirilmesi, şantiye sürelerinin kısa olması gibi sebeplerden dolayı çelik yapı projeleri ekonomik ve verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

Çelik yapı projelerinde maliyeti arttıran unsurlardan birisi imalat hatalarıdır. Malzeme ve kaynak ön testlerinin zamanında yapılması, gerekiyorsa bir muayene kuruluşu ile beraber çalışılması imalat hatalarının çoğunlukla önüne geçecektir. Yapı projelerinde maliyeti arttıran bir diğer etken ise kurulumda kullanılan vinç maliyetleridir. Sevkiyat ve montaj planlarının uygun şekilde yapılması, plana uygun kurulum yapılması ile şantiye sürelerinin kısaltılması, maliyetlerin azaltılması mümkündür.

Çelik yapı projelerinde yapıya sonradan ilave edilecek bölümlerin olması ya da bazı bölümlerin değiştirilmesi gerektiğinde bu işlem cıvatalı ya da kaynaklı olarak rahatlıkla gerçekleştirilebilmektedir. Böylelikle ekonomik sebeplerden veya ihtiyaç olmamasından kaynaklı ilk yapım sırasında tamamlanmayan kısımlar sonrasında eklentiler yapılarak genişletilebilir. Bu durum ile genellikle havalimanı terminallerinde karşılaşmaktayız.

Yapıya eklentiler olabileceği gibi çıkartmalar veya tamamen sökülmesi de gerçekleştirilebilir. Yapı işlerinde kullanılan metal malzemelerin neredeyse tamamı geri dönüşebilir malzemelerdir. Yapının ömrünü tamamladığı düşünüldüğünde rahatlıkla sökülebilir ve geri dönüştürülebilir.



## 2. DEPREMİN YAPILARA ETKİSİ

Son yıllarda hem Türkiye, hem de diğer ülkelerde yaşanan depremlere bakıldığında, yapılaşmanın artması ile birlikte kayıpların da arttığını görmekteyiz. Yıkılan, hasar gören konut, iş yeri ve sanayi tesisleri bulunmakta, yıkılan binalar nedeniyle ulaşım ve altyapı hizmetleri aksamaktadır.

Deprem, yer kabuğundaki stresin aniden serbest kalması sonucu oluşan ve yer yüzeyinde titreşimler şeklinde hissedilen, önlenemez bir doğa olayıdır. Deprem oluşmasını önleyemeyeceğimiz gibi mevcut tekniklerle tam olarak ne zaman oluşacağını da bilemediğimiz bir olgudur. Bu nedenle depreme yaşadığımız, çalıştığımız, alışveriş yaptığımız yapılarda yakalanmamız olası bir durumdur.

Deprem sırasında zeminden gelen sarsıntılar, yapıları titretir ve zarar verebilir. Kullandığımız yapılar bu titreşimlere karşın ne kadar esnek olabilirlerse ve bu titreşimleri sönmüleyebilecek imkanları varsa o derece az hasar ile depremi atlattır. Deprem karşısında bir binanın davranışını etkileyen en önemli özellik malzemesidir. Metaller, yükler karşısında sünek davranış gösterdikleri için, deprem esnasında da esneyerek yapının kırılmasına müsaade etmezler. Deprem esnasında bir miktar esneyen metal, deprem sonrası yeniden eski haline gelerek yapının güvenli olarak kullanılmasını sağlar.

Hangi ana malzemeden yapılırsa yapılsın, yapıların belli bir zaman aralığında bakımdan geçirilmesi, gerekiyorsa takviye yapılması gerekmektedir. Beton yapılarda takviye ihtiyaçları genellikle çelik malzemeler ile kolon ve kirişlerin güçlendirilmesi şeklinde yapılmaktadır. Çelik yapılarda ise hasar gören, normal kullanımdan dolayı eskiyen parçalar yenileri ile rahatlıkla değiştirilebilmektedir. Parçaların değişimine imkan tanınması nedeniyle çelik yapıların bakım ve yenileme maliyetleri daha ekonomik olmaktadır.

Olası bir deprem sonrası hasar gören binaların yıkılması, çıkan atıkların toplanması, taşınması ve bertaraf edilmesi oldukça zahmetli ve zordur. Deprem sonrası beton bina enkazları için bilindiği gibi büyük atık sahaları oluşturulmak zorunda kalınmıştır. Çelik binalar depremlerde daha az hasar görmekle birlikte olası bir hasar durumunda da rahatlıkla sökülerek taşınabilmektedir. Ekonomik değeri olan çelik, geri dönüşümle (up-recycling) kolaylıkla yeniden işlenerek orijinal ürün haline getirilebilmekte veya yapı elemanlarının tekrar kullanımı (reuse) suretiyle hem döngüsel ekonomiye kazandırılabilen hem CO2 salımının azalmasına katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle atık ve hafriyat alan ihtiyacı ile çevreye zararı yok denecek kadar azdır.

## 3. DEPREM DURUMUNDA ÇELİK YAPILARIN AVANTAJLARI

Olası bir deprem durumunda çelik, yüksek mukavemeti, basma yüklerine karşı dayanıklı olmasının yanında çekme yüklerine karşı da oldukça dayanıklı olması, farklı yönlerden gelen yüklere karşı esnek davranış göstermesi nedeniyle yapının hasar görmesini engeller. Ayrıca taşıyamayacağı bir yük altında da kırılmak yerine şekil değiştirerek yapısal bütünlüğün korunmasına destek olur.

Ana taşıyıcı malzemelere bakıldığında çelik binaların, beton binalara oranla daha hafif olması da hem olası bir yıkılmanın oluşmasını engeller hem de zemin yüklerinin daha az olmasını sağlar.

Çelik yapılar genellikle ön imalatta kaynaklı, şantiyede gerçekleştirilen kurulumlarda ise cıvatalı olarak birleştirilir. Her iki birleştirme yönteminin de standartlara göre kontrol ve muayeneleri yapılabilen, uygulama için gerekli yardımcı ve sarf malzemeler istenen kalitede kolaylıkla temin edilebilmektedir.

Standartlara uygun, gerekli kontrolleri yapılmış kaynaklı kalıcı birleştirmeler ile cıvatalı sökülebilir birleştirmeler, deprem gibi yüklere karşı oldukça dirençli bir birleştirme sunarlar. Ayrıca cıvatalı bağlantılar olası bir hasar durumunda sökülerek kolayca yenileri ile değiştirilebilirler.

#### 4. YAPI ALANINDA KAYNAK UYGULAMALARININ YAYGINLIĞI

Ülkemizde yapı ve inşaat terimleri geçtiğinde ilk aklımıza gelen malzeme betondur. Yapı işlerinde betonun sıklıkla kullanılması nedeniyle beton temini de ülkemizde oldukça kolaydır. Konut inşasında çoğunlukla beton kullanılmakla birlikte, büyük, ağır, yüksek binalarda alternatif olarak çelik çoğunlukla gündeme gelmektedir. Havalimanları, stadyumlar, iş merkezleri, gökdelenler, köprüler gibi büyük ve ağır yapıların hemen hemen tamamında çelik kullanılmakta, yapının tamamı ya da bir kısmı çelik malzemelerden imal edilmektedir.

Ağır ve önemli yapılarda aklımıza gelen çelik, konut veya işyeri inşası gündeme geldiğinde maalesef ilk sırada aklımıza gelmiyor. Bunun nedenleri olarak; beton binalara alışık olmamız, çelik yapıların geçici görülmesi, müteahhitlerin yönlendirmesi, çelik binanın maliyetli olduğunun düşünülmesi olabilir.

Beton ve çelik yapılar karşılaştırıldığında beton binalarda da uygulama sırasında sıklıkla kontrole ihtiyaç duyulduğu, bu nedenle Bakanlıkça Yapı Denetim sisteminin kurulduğu bilinmektedir. Ayrıca kullanılan malzemelerin de test ihtiyacı olması, şantiyede çalışan sayısının fazla olması, çalışan maliyetinin fazla olması, iş güvenliği ve çevre risklerini barındırması beton binaların dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır. Benzer şekilde çelik yapılarda da üretim ve kurulum aşamalarında kontrollerin yapılması, gerekli iş güvenliği tedbirlerinin alınması oldukça önemlidir. Bunun yanında çelik yapı şantiyelerinde çalışan sayısının daha az olması iş güvenliği risklerini azaltmakta, kurulum süresinin kısa olması nedeniyle de ekipman ve çalışan giderlerinin düşük olması sağlanmaktadır.

Tüm bu avantaj ve dezavantajlar göz önüne alındığında stadyum, kongre merkezi, havalimanı, gökdelenler, spor tesisleri, fabrika binaları, köprüler, boru hatları, liman yapıları, vinçler, enerji santralleri, rüzgar enerjisi direkleri gibi özellikle riskli ve ağır yapılarda kullanılan çelik malzemenin, yaşam alanlarımızın tamamında kullanmanın bir sakıncası olmayacağı anlaşılabilir.

Atölyede veya yerinde yapılan kaynaklı, cıvatalı ve perçinli bağlantılar için farklı uygulama yöntemleri bulunmaktadır. Özellikle kaynak teknolojilerinin son yıllardaki gelişimi sonucunda elle, yarı otomatik veya tam otomatik kaynak sistemleri ve bu sistemlerde kullanılacak onlarca kaynak yöntemi bulunmaktadır. Kaynak dikişinden beklenecek performansa göre tasarım ekibi ya da uygulayıcı tarafından uygun kaynak yöntemleri seçilebilir ve gerekli kontroller yapılarak kaynak işlemi gerçekleştirilebilir.

Yapı işleri için özelleştirilmiş bir standart olan “EN 1090 Çelik ve alüminyum yapı uygulamaları”, çelik ve alüminyum için ayrı ayrı hazırlanmış “AWS D1.1 ve D1.2 Yapısal Kaynak” standartları ve her türlü kaynak işlemi için şartları tanımlayan “ISO 3834 Metalik malzemelerin ergitme kaynağı için kalite şartları” standartları başta olmak üzere, kaynaklı imalatın kalitesini güvence altına alan standartlar mevcuttur. Bir Avrupa bölgesel standardı olan EN 1090 standardının uluslararası hale getirilmesi için ISO komitelerinde çalışmalar devam etmekte ve ISO 17607 standardı olarak neredeyse yayınlanma aşamasına gelinmiştir.

#### 5. YORULMA MEKANİĞİ VE YAPILARA ETKİSİ

Yorulma, malzemelerin sürekli tekrarlanan yük uygulamalarına maruz kaldığında ortaya çıkan bir etkidir. Bu tekrarlanan yükler, zamanla malzemelerin zayıflamasına ve çatlama oluşmasına yol açabilir.

Özellikle köprü, kule gibi yapılarda ya da endüstriyel tesis binalarında yorulma etkisinden söz etmek mümkündür. Ancak kısa süreli titreşimler, sabit yükler gibi etkiler dinamik yük olarak kabul edilmeyip, yorulma etkisi yaratmazlar.

Yorulma analizleri yapılarak bir yapının ne kadar süre boyunca tekrarlanan yükler altında dayanabileceğini tahmin etmek mümkündür. Bu analizler, özellikle fabrika binaları, köprüler gibi yapıların tasarımının önemli bir parçasıdır ve yapı güvenliği için kritik öneme sahiptir.

Yorulma etkisindeki bir malzemenin davranışını test edebilmek için geliştirilmiş yöntem “ISO 12135 Metalik malzemeler - Kuvarsist kırılma tokluğunun belirlenmesi için test yöntemi” standardında tanımlanmaktadır. Kaynaklı birleştirmeler için ise ilaveten “ISO 15653 Metalik malzemeler - Kaynakların yarı statik kırılma

tokluğunun tayini için deney yöntemi” standardı bulunmaktadır. Bu standartlara göre yapılan yorulma testleri için en az 1.000 tekrarlı yük uygulanmakta, sağlıklı bir sonuç elde edebilmek için test numunesine 100.000 ya da 1.000.000 tekrarlı yük uygulanarak sonuçların değerlendirilmesi gerekmektedir.

Deprem gibi doğal afetler sırasında yapılar kısa süreli tekrarlı yüklere maruz kalırlar. Bu yükler genelde 10-50 tekrar civarındadır. Dolayısıyla genellikle konut ve işyeri olarak tasarlanmış yapılar dinamik yük altındaki yapılara olarak kabul edilmez ve statik yükler esas alınarak tasarlanırlar.

Gelişen kaynak teknolojisi nedeniyle eskiden bazı çevrelerce metal yorulmasına karşı çözümün sadece perçinli birleşimler olduğu kabul edilmesine karşılık, günümüzde yukarıda da belirtildiği gibi yorulma açısından kritik olan kule, köprü gibi yapılarda çelik ve kaynaklı bağlantılar sıklıkla kullanılmaktadır. Bu nedenle daha az dinamik yüke maruz kalan konut ve işyerlerinde de benzer imalat ve montaj süreçleri kullanılarak güvenli yapılar inşa edilebilir.

Kaynaklı bağlantıların sismik yükler altındaki performansı ile ilgili de ISO/TC 167 Çelik ve Alüminyum Yapılar Teknik Komitesinde bir standart hazırlanmaya devam etmektedir. Şu anda komite çalışma taslağı halinde bulunan “ISO/WD 20895 Welded joints performance for seismic steel structures” (Sismik çelik yapılar için kaynaklı bağlantı performansı) başlıklı standartta da kaynaklı bağlantılar temel ve kritik olarak iki kategoride incelenmektedir.

## 6. SİSMİK İZOLATÖR VE DENGELİYİCİLERİN KULLANIMI

Depremde binayı koruyan üst katlarda bulunan hareketli ağırlık, genellikle "sismik izolatör" veya "sismik dengeleyici" olarak adlandırılır. Bu sistemler, binanın üst katlarında kullanılarak deprem sırasında binanın hareketini ve titreşimini azaltmaya yardımcı olur. İşte bu hareketli ağırlıkların işleyişi ve işlevi hakkında daha fazla bilgi:

Sismik izolatörler, binanın temel ve üst yapısı arasına yerleştirilen özel ekipmanlardır. Bu sistemler, deprem sırasında binanın zemin hareketlerine daha az tepki vermesini sağlar. Genellikle elastomerik (kauçuk benzeri) yataklar, kayma yüzeyleri veya viskoelastik malzemeler kullanılır. Bu izolatörler, binanın üst katlarının deprem sırasında daha sakin kalmasını ve yapının hasar görmesini önler.

Hareketli ağırlıklar, binanın üst katlarında kullanılan bir başka sismik güçlendirme yöntemidir. Bu sistemlerde, binanın çatı katında veya üst katlarında büyük ağırlıklar veya dengeleyiciler bulunur. Deprem sırasında, bu ağırlıkların yatay hareketleri, binanın titreşimini dengelemek ve kontrol altına almak için kullanılır. Ağırlıklar, binanın karşılaştığı sismik kuvvetleri dengelemeye yardımcı olur ve böylece yapıya zarar gelmesini engeller.

Hareketli ağırlıkların ve sismik izolatörlerin kullanılması, binanın deprem sırasında dayanıklılığını artırır ve can kayıplarını önler. Bu sistemler, binanın elastik hareketine izin vererek deprem kuvvetlerini emer ve yayılmasını kontrol eder. Ayrıca, binanın hasar görmesini önler veya hasarı en aza indirir.

Hareketli ağırlıklar ve sismik izolatörler, deprem güvenliği sağlamak için kullanılan sismik mühendislik uygulamalarının bir parçasıdır. Özellikle yüksek binalar, köprüler ve diğer kritik altyapı projelerinde bu tür sistemler yaygın olarak kullanılır. Bu sistemler, depreme karşı dayanıklılığı artırmanın yanı sıra insanların ve mülklerin güvenliğini koruma amacını taşırlar.

## 7. KAYNAK KALİTESİNİN GÜVENCESİ

Kaynak uygulamasının kalitesi, diğer her türlü imalat ve yapı işlerinde olduğu gibi önem arz etmektedir. Beton yapı için nasıl ki proje aşamasından, son işlerine kadar her aşamada uzman personel ve kontroller gerekiyorsa, çelik yapı projelerinde de benzer şartlar geçerlidir.

Projelerin ve hesaplamaların ilgili ulusal ve uluslararası normlara göre yapılması yapının sağlığını temelden etkileyen bir durumdur. Personelin eğitimli olması, gerekli ulusal ve uluslararası sertifikalara sahip olması

önemlidir. Kaynak işlerinde “ISO 9606 Kaynakçıların yeterlilik sınavı - Ergitme kaynağı” standardı ile “ISO 14732 Kaynak personeli-Metalik malzemelerin tam mekanize ve otomatik ergitme kaynağı için kaynak operatörlerinin ve kaynak ayarıcılarının yeterlilik sınavı” standartları bulunmaktadır. Buna ilaveten Mesleki Yeterlilik Kurumunun (MYK) hazırlamış olduğu Çelik Kaynakçısı, Alüminyum Kaynakçısı, Kaynak Operatörü gibi meslek standartları da bulunmaktadır.

Ayrıca kaynak alanında bulunan standartlara göre ön testlerin yapılması (PQR testleri) ve uygulamanın bu sonuçlara göre devam ettirilmesi önemlidir. Kaynak her ne kadar özel bir proses olsa da, gerekli ön çalışmalar yapıldığında yeterince sağlıklı bir şekilde uygulanabilecek bir birleştirme yöntemidir. Ülkemizde çoğunlukla Avrupa standartları kullanılmakla birlikte, Amerika ve diğer ülke standartlarına göre de üretim yapılabilmektedir. Ayrıca muayene ve testleri yapacak yeterli ve yetkin muayene uzmanları bulunmaktadır.

ISO 3834 gibi kaynak uygulamalarını tanımlayan ve ISO 5817 gibi kaynak kalitesini tanımlayan standartlar bulunmakta ve sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Hemen hemen her ilimizde ISO 3834 ve EN 1090 standartlarından belgeli oldukça fazla sayıda imalatçı bulunmaktadır. Bu nedenle gerekli kontroller yapıldığı sürece kaynaklı yapının kalitesinden şüphe etmeye gerek yoktur.

## **8. GÜVENİRLİK VE KAYNAK DENETİMİ İMKANLARI**

Avrupa ve Türkiye’de uygulamada bulunan Yapı Malzemeleri Yönetmeliği ve bu yönetmelik ile ilişkili standartlar ile imalatı yapılan yapı malzemelerinin kontrol ve denetimi yapılmaktadır. Bu kapsamda çelik ve alüminyum yapı malzemeleri için “EN 1090 Çelik ve alüminyum yapı uygulamaları” standardı yasal olarak imalatçıların uygulaması gereken bir standarttır. Ayrıca imalatçıların üretim sistemleri yetkilendirilmiş bir Onaylanmış Kuruluş (ISO 17065 standardına uygun akredite olmuş ve Bakanlıkça atanmış) vasıtasıyla belgelendirmiş olmaları gerekmektedir.

Ayrıca imalatçıların kaynak kalitesini güvence altına almak üzere “AWS D1.1 ve D1.2 Yapısal Kaynak” standartları ve “ISO 3834 Metalik malzemelerin ergitme kaynağı için kalite şartları” standartları bulunmaktadır. Çelik ve alüminyum yapı üreticileri dilerlerse bu standartlara uygun olarak da sertifika alabilmektedirler. Hemen hemen her ilimizde tüm bu standartlara göre imalat yapan ve sertifikalandırılmış yeterli imalatçı bulunmaktadır.

Çelik ve alüminyum yapıların tasarımını ilgili yönetmelik ve standartlar çerçevesinde yapacak yetkin mühendislik firmaları da ülkemizde mevcuttur. Tasarım yapılırken, çevresel koşullar, deprem riski, rüzgar yükü, kar yükü ve diğer faktörleri dikkate alınmaktadır.

Çelik ve alüminyum yapı projelerinde inşaat, makina, malzeme ve kaynak mühendislerinin beraber çalışması tasarımından, imalatına ve yerine montajına kadar birçok süreçte güvenli yapıların oluşması için önem arz etmektedir.

Gerekli durumlarda ISO 17020 standardından akredite olmuş muayene kuruluşları da yapı projelerinin sağlığı için görev alabilmektedir. Yapı sahibinin yeterli teknik bilgisi ya da personeli olmaması durumlarında bu muayene kuruluşları, üçüncü taraf gözetim kapsamında, çelik ve alüminyum yapıların imalat ve montajına nezaret ederek gerekli kontrollerin takibini ve raporlamasını yapabilmektedirler. Özellikle kamu hizmetinde bulunan köprü, stadyum, havalimanı gibi büyük projelerde çoğunlukla üçüncü taraf muayene kuruluşları görev almaktadır.

## **9. ÇELİK YAPILARIN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ VE ÇEVRE ETKİLERİ**

Çelik, geri dönüşüm için uygun bir malzemedir ve hurda çelik, yeniden işlenerek birçok sektörde ham malzeme olarak kullanılabilir.

Geri dönüştürülen çelik için harcanan enerji ve doğal kaynaklar cevherden çelik üretimine nazaran oldukça azdır. Bu şekilde çelik sonsuz olarak geri dönüştürülerek daha az kaynak tüketimi ve daha az karbon salımı ile yeniden

ekonomiye kazandırılabilir. Sökümü yapılmış yapılardan çıkan çelik yapı elemanlarının sifıra yakın karbon salımı ile tekrar kullanılabilmesi (reuse) konusu uzun zamandan beri CEN TC135 / WG 17 komitesi gündeminde olup, ürün kategorisi kuralları (c-PCR) paralelinde “prEN 17662 Execution of steel structures and aluminium structures - Environmental Product Declarations - Product category rules complementary to EN 15804 for Steel, Iron and Aluminium structural products for use in construction Works” (Çelik ve alüminyum yapı uygulamaları - Çevresel Ürün Beyanları - İnşaat işlerinde kullanıma yönelik Çelik, Demir ve Alüminyum yapısal ürünler için EN 15804'ü tamamlayıcı ürün kategorisi kuralları) standardı onay safhasına gelmiştir. Standardın ilk versiyonunun EN 1090 standardına bir ek olarak, muhtemelen 2024 yılında yayınlanması beklenmektedir.

Ayrıca çelik yapılar kurulum sürelerinin kısalığı ve bu süreçte daha az atık oluşması, uzun ömürlü olmaları nedeniyle çevreye daha saygılıdır. Tüm bu avantajlar çelik yapıların, yeşil bina sertifikaları (LEED, BREEAM vb.) almasını kolaylaştırır. Bu tarzdaki sertifikalar, sürdürülebilirlik hedeflerine uygun olarak çelik yapılar ile ilgili tanımlar içermektedir.

## ÇELİK BORULARIN ÇEVRESEL KAYNAĞI

Dr. İbrahim ERTÜRK<sup>1</sup>, [iberturk06@gmail.com](mailto:iberturk06@gmail.com)  
Emekli Öğretim Üyesi, ANKARA,  
Metalürji Malzeme ve Kaynak Teknolojisi Uzmanı

### ÖZET

Tüm dünyada petrol ve doğalgaz taşımacılığında Amerikan Petrol Enstitüsü standardı API 5L, X-52, X-55, X-60 çelik borular kullanılır iken, boru hatlarının taşıma kapasitelerinin artması, düşük alaşımli yüksek dayanımlı X-70, X-80, X-100 boruların kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Uluslararası ve ulusal boru hatları yardımı ile petrol, petrol ürünleri ve doğalgaz taşımada kullanılan ve toprak altına döşenen borular içerisinde nakledilen maddelerin özellikleri nedeni ile statik ve dinamik yüklere, deprem ve toprak kaymalarının meydana getirdiği zorlamalara maruz kalabilirler. Bu nedenlerden dolayı boruların birleştirilmesi, boru malzemesinin kimyasal bileşimine ve mekanik özelliklerine uygun dolgu malzemesi (elektrot) seçilerek, örtülü elektrot ark, dolu tel MAG ya da özlü tel MAG kaynak yöntemlerinden uygun ve ekonomik olanı seçilerek kaynak edilmelidir.

**Anahtar sözcükler:** Boru, kaynak, elektrot, özellik

### ABSTRACT

**While the American Petroleum Institute standard API 5L, X-52, X-55, X-60 steel pipes are used in oil and natural gas transportation all over the world, the increase in the carrying capacity of the pipelines, low alloy high strength X-70, X-80, X-100 made the use of pipes mandatory. With the help of international and national pipelines, they can be exposed to static and dynamic loads, stresses caused by earthquakes and landslides, due to the characteristics of the materials used in the transportation of oil, petroleum products and natural gas and transported in the pipes laid underground. For these reasons, the joining of pipes should be welded by choosing the filling material (electrode) suitable for the chemical composition and mechanical properties of the pipe material, by choosing the appropriate and economical method of covered electrode arc, solid wire MAG or cored wire MAG welding methods.**



## 1. GİRİŞ

Petrol, petrol ürünleri ve doğalgaz gibi ürünlerin ulusal ya da uluslararası boru hatları ile taşınması özel üretilmiş çelik borular ile yapılır. Boru hattında kullanılan boru malzemesinin et kalınlığının seçiminde içinden geçecek olan madde ve boru hattının maruz kalacağı zorlanmalar dikkate alınır. Ham petrolün rafineri bölgelerine ve doğalgazın tüketim bölgelerine daha hızlı taşınmasını gerçekleştirebilmek için gittikçe daha yüksek basınç kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle kullanılan boru çeliklerinin dayanımının artırılması gerekmektedir. 1960'lı yıllara kadar API 5L, X-52, X-55 borular kullanılır iken 1970'li yıllardan sonra gelişim süreci Çizelge.1'de verilen düşük alaşımlı yüksek dayanımlı çelik boruların kullanımına ihtiyaç duyulmuştur.

**Çizelge.1**Niyobyumlu düşük alaşımlı çeliklerin gelişim süreci [1]

Niyobyumlu çokalaşımlanmış boruhattı çeliklerinin gelişimi							
Tür	C	Mn	Nb	S	P	Diğerleri	Yorumlar
1960 Öncesi	0.24	0.80	-	0.035	0.030	-	Yarı durgun
1959 (GLX)	0.19	1.00	0.02	0.030	0.030	-	Yarı durgun
1970 (X-60)	0.12	1.00	0.03	0.020	0.025	-	Yarı durgun
1972 ( X-60 Tough)	0.12	1.20	0.03	0.008	0.020	NT/Ca	Yarı durgun
1973 (X-60 Sour)	0.10	1.00	0.04	0.004	0.015	NT/Ca	Yarı durgun
1974 (X-70)	0.06	1.60	0.05	0.003	0.015	V,Mo,NT/Ca	Concast
1982 (X-65 Sour)	0.05	1.10	0.03	0.001	0.010	Cu, Ni, Ca	Concast,IMDS
1985 (X-79)	0.04	1.50	0.03	0.001	0.010	Ti, V, B, Mo	IMDS,Concast, Vakum
1988 (X-80)	0.03	1.80	0.05	0.001	0.008	Ti, Mo, B	IMDS,Concast, Vakum

\*IMDS – Isılme mekanik Denetimli Süreç (Denetimli Haddeme ve Hızlandırılmış Soğutma)

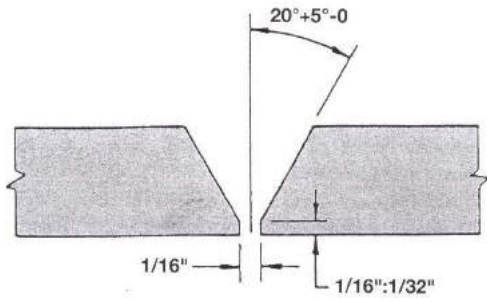
Düşük alaşımlı yüksek dayanımlı çeliklerin kullanımı sonucu hem boruların et kalınlığı inceltilmekte hem de ağırlıklar azaltılarak ekonomi sağlanabilmektedir. Konu yalnız toprak üstü ve toprak altı boruları değil, deniz altında kullanılan boruları da kapsamaktadır.

Daha üstün nitelikli petrol ve doğalgaz boru çeliklerinin geliştirilmeleri, temelde gittikçe artan gereksinimleri karşılayabilme zorunluluğundan doğmuştur. Geliştirilen bu çeliklerde istenilen başlıca özellikler şöyle sıralanabilir [1];

- Yüksek dayanç ( $\sigma_a$ )
- Yüksek çarpma tokluğu (DWTT, CVN)
- Yüksek kaynaklanabilirlik ( $C_{eş}$ )
- Şekillendirilebilme kabiliyeti
- Atmosferik ortamlarda yüksek yenim direnci

### 1.1. Borularda Kaynak Ağızı Hazırlama

Boru hatlarında hatasız ve kaliteli bir kaynaklı birleştirme elde etmenin ön koşulu kaynak ağzının gereken şekilde hazırlanması ile başlar. Boruların konumlanabilmesi (ağızlanabilmesi) için çevre geometrilerinin birbirleri ile uyum sağlaması gerekir. Spiral kaynaklı borularda üretim sisteminden kaynaklanan bir ovallik vardır. Boyuna kaynaklı borularda ise kaynak dikişinin bulunduğu kısımda bir düzlük görülür. Boru hatlarının döşenmesinde kaynak öncesi borulara API standardına uygun kaynak ağzlarının açılarak, boruların birbirleri ile aynı doğrultuda konumlanıp, puntalanması gerekir. Kaliteli kaynak ağzı mekanik yöntem ile talaş kaldırarak kesme yöntemidir. (Şekil 1.2)



**Şekil 1.1** Boru hatlarının kaynağında uygulanan API standardına uygun kaynak ağzı biçim ve boyutları [2]



**Şekil 1.2** Talaşlı imalat ile kaynak ağzlarının hazırlanması [2]

Kaynak ağzlarının açılmasında yaygın olarak kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir [2].

- Oksijen ile keserek kaynak ağzı açma
- Plazma arkı ile keserek kaynak ağzı açma
- Mekanik yöntem ile keserek kaynak ağzı açma

## 1.2. Borularda Konumlama (Ağızlama) Donanımı

Boru hatlarının kaynağında önemli olan kriter donanım için gerekli olan maliyettir. Günümüzde boru kaynaklarında çapı 2" (inç)'den daha büyük olan boruların örtülü elektrot ark kaynağında kaynak yönü yukarıdan aşağıya doğru olacak şekilde yapılmaktadır. Kaynak işlemini en ekonomik şartlarda gerçekleştirmek için [3];

- İyi eğitilmiş kaynakçılara
- Kaynak kök dikişlerinin yapılmasına olanak tanıyan boru konumlama (ağızlama) donanımlarına
- Yukarıdan aşağıya kaynak işlemine olanak tanıyan kaynak donanımına
- Bu tekniğe uygun dolgu malzemesi (elektrot) seçimine ihtiyaç vardır.

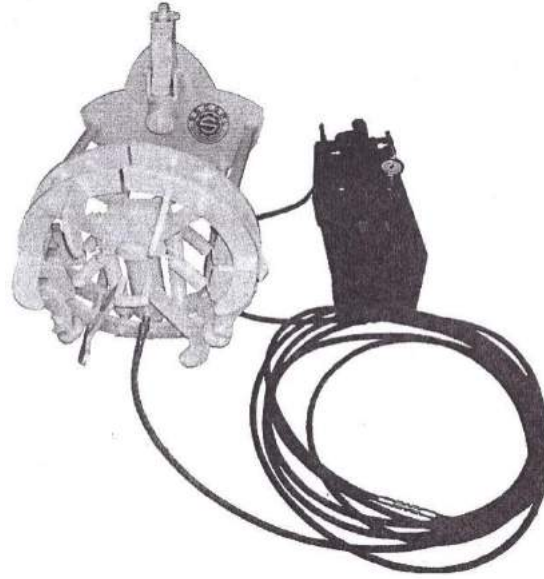
Piyasada boruların konumlandırılmasında kullanılan farklı konumlama donanımları vardır. 12" (inç) çapa kadar olan boruların yukarıdan aşağıya doğru yapılan kaynaklarında, köprü içermeyen kenetleme donanımlarının kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu donanımların kullanılması durumunda kök

dikişlerinin çekilmesi esnasında donanımın çözülmesine gerek kalmaz. Kök dikişinin tamamı donanımı çözmeksizin yapılabilmektedir (Şekil 1.3).

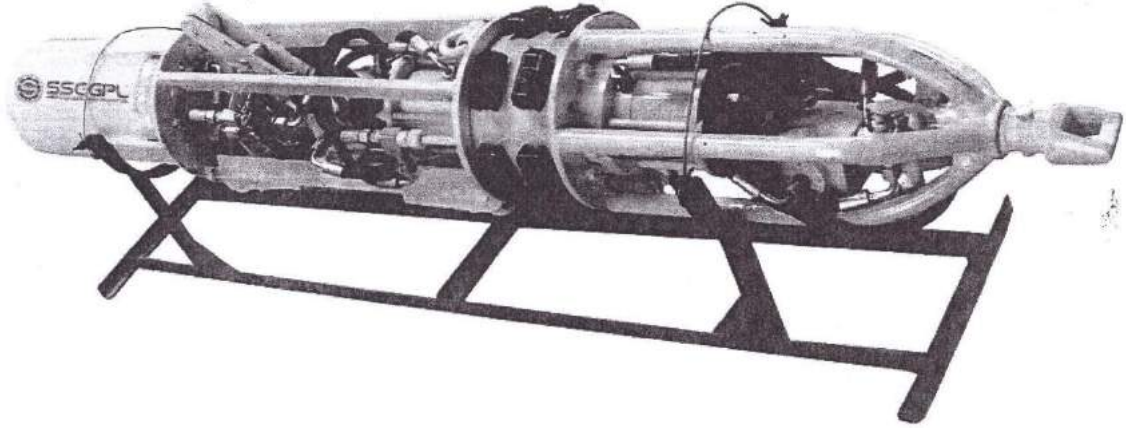


Şekil 1.3 12” (inç) çaplı boru için köprü içermeyen kelepçe [3].

Çapı 8” (inç) üzerinde olan boruların kaynağında hidrolik (şekil 1.4) ya da pnömatik (şekil 1.5) boru iç kısmında kullanılmaya uygun donanımların kullanılması tavsiye edilir. Pnömatik sistem ile aynı tarzda çalışan ve boru iç kısmında kullanılan pnömatik donanımlar ilave bir hava tankı yardımıyla hareket edebilmektedir [5].



Şekil 1.4 Hidrolik iç kelepçe donanımı [6].



Şekil 1.5Pnömatik iç kelepçe donanımı [7].

## 2. BORU KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

Kaynak işleminin çoğu henüz manuel kaynak yöntemleri ile yukarıdan aşağıya doğru yapılmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan kaynak yöntemleri aşağıda verilmiştir;

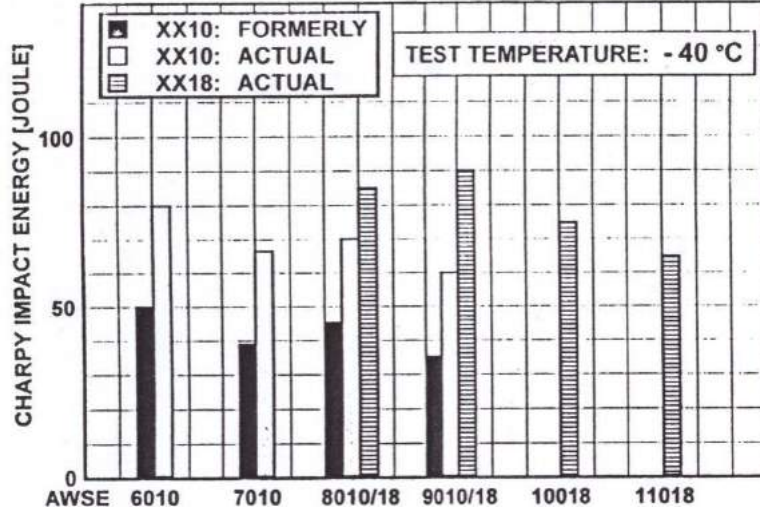
- Örtü elektrot ile yapılan ark kaynağı yöntemi,
- Dolu ve özlü tel elektrotlar ile yapılan MAG kaynağı yöntemi.

### 2.1.Örtülü Elektrot İle Yapılan Ark Kaynağı Yöntemi

Bu yöntemin tercih edilmesinin nedenleri havanın olumsuz etkilerine karşı gösterdiği direnç ve en kötü çevre durumlarında dahi boruların ekonomik olarak kaynak edilebilmesidir. 1970’li yılların ortalarına kadar bu işlem için selülozik örtülü elektrotlar kullanılmakta idi. Daha sonraları bazik örtülü elektrotlar ile boruların kaynak edilebileceği gündeme gelmiştir. Bu gereksinimin ortaya çıkış nedeni ise çekme dayanımının X-70 (STE 480.7 TM)’den daha büyük olan çeliklerin kullanılmaya başlamasıdır. O zamanlar bu yüksek çekme dayanımlı boru çeliklerinin termomekanik olarak işlenemeyeceği ve çekme dayanımlarını suda soğutma (sertleştirme) ve temperleme ile muhafaza edilebilecekleri sanılıyordu. Söz konusu olan çelikler daha yüksek karbon içerdiklerinden sertleşmeye karşı duyarlıydılar. Bu boruların selülozik elektrotlarda kaynak edilmesi durumunda kaynak metali içerisine hapsolan hidrojen, soğuk çatlak tehlikesini arttırmaktadır [2, 3, 4].

#### 2.1.1. Kaynak Dikişlerinin Tokluk Özellikleri

Bazik elektrotların geliştirilmesinde etkili olan unsurlardan bir diğeri ise bu elektrotlar ile yapılan kaynak dikişlerinin tokluk değerlerinin, selülozik elektrotlar ile gerçekleştirilenlerden daha yüksek olmasıdır. Şekil 2.1’de yukarıdan aşağıya doğru bazik örtülü elektrot ve selülozik örtülü elektrot ile gerçekleştirilmiş kaynaklardan alınan numunelerde yapılan çarpma deneyi sonuçları verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi tüm durumlarda bazik örtülü elektrot ile yapılan kaynaktan alınan numune daha toktur. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalarda selülozik örtülü elektrotların tokluk özellikleri de geliştirilmektedir [2,3].

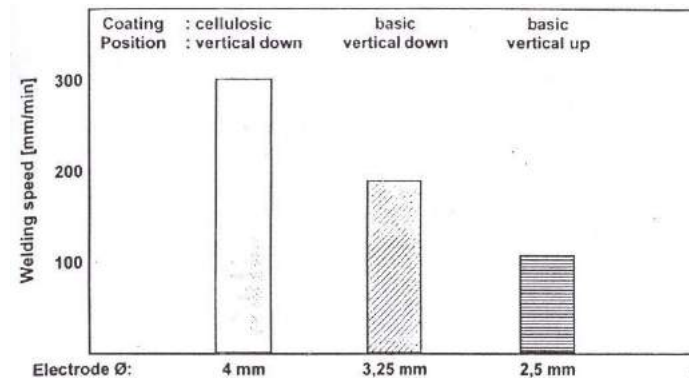


Şekil 2.1 Yukarıdan aşağıya(dikey) pozisyonda selülozik ve bazik elektrotların çentik darbe deneyi özellikleri [3].

### 2.1.2. Kaynak Hızı

Selülozik örtülü elektrotlar ile boru kaynağında elde edilen kaynak hızının yüksek olmasının nedeni daha büyük çaplı elektrotlar ile kaynak yapılabilmesi ve yüksek akım yoğunluğunda çalışmaya olanak tanınmasıdır. Günümüzde bu amaçla kullanılan elektrot çapı 5,5 mm'dir. Yukarıdan aşağıya doğru yapılan kaynaklarda kullanılması tavsiye edilen maksimum elektrot çapı normalde 4 mm'dir. Ancak son yıllarda 4,5 mm çaplı elektrotlarda başarı ile kullanılmaktadır. Örtü kompozisyonunun içeriği gereği bu elektrotlar daha yüksek akımda çalışmaya olanak tanımaktadır [2,5].

Uygulamada boru hattının döşeme hızı, boru konstrüksiyonlarındaki kaynak sırasının planlanmasından etkilenir. Bu aşamada hızı etkileyen kaynak aşaması, kök kaynağı için gereken süredir. Kök kaynağı için gerekli süreler test edilerek diyagramlarda verilmiştir. Şekil 2.2 incelendiğinde selülozik örtülü elektrotlarla 300 mm/dak ve bazik örtülü elektrotlarla 190 mm/dak kaynak hızına ulaşılabileceği görülmektedir.

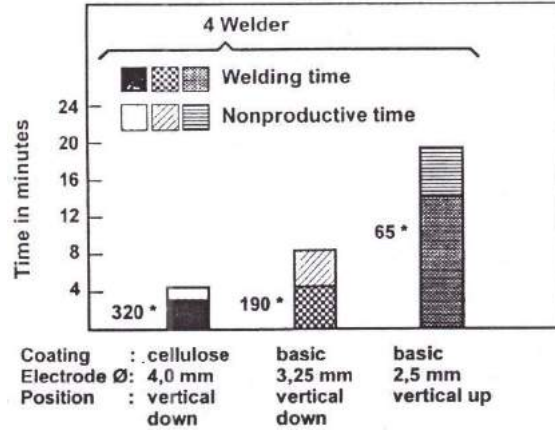


Şekil 2.1.2. Farklı örtü yapısına sahip elektrotların kök kaynağında kaynak hızı testindeki ilişkiler [5].

Yukarıdaki şekilde daha sonra değinilecek olan ve bazik elektroda alternatif bir yöntem olan aşağıdan yukarıya doğru kaynak işleminde elde edilen hız (elektrot çapı 2,5 mm için 100 mm/dak) verilmiştir.



Bruchl ve Muesch tarafından 48" (inç) çapındaki borunun kök kaynağı esnasında alınan ve Şekil 2.2'de verilen ölçümlerle mukayese edildiğinde, bu ölçümlerin birbirlerini doğruladığı görülmektedir. Bruchl ve Muesch'in doğrudan kaynak işlemi için elde etmiş oldukları kaynak hızları, bu çalışmalarda elde edilen kaynak hızları ile aynı paralelliktedir [3].



**Şekil 2.3** Farklı elektrot tipleri ile 48" (inç) boruda kök kaynağı için kullanılan süre [3]

#### 2.1.4. Selülozik ve Bazik Elektrotların Kombinasyonu İle Boruların Çevresel Kaynağı

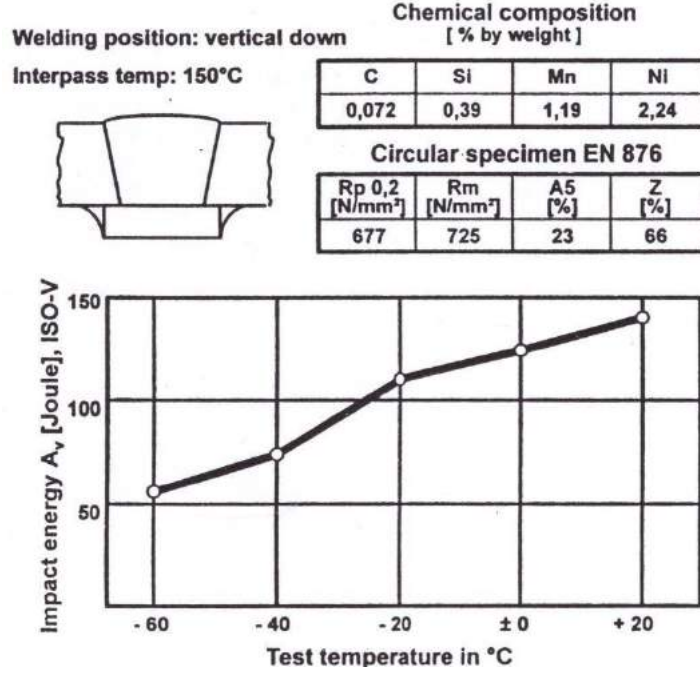
Özellikle uzun mesafeli boru hatlarının kaynaklarında birkaç tip elektrot birlikte kullanılmaktadır. Kök ve üst yüzey arasında yer alan pasolardaki kaynak dikişleri selülozik örtülü elektrotlardan daha büyük çekme dayanımına sahip yumuşak (tok) bir elektrot ile yapılmaktadır. Bu tarzda gerçekleştirilen işlem, kombinasyon metodu olarak da adlandırılmaktadır. Bu yöntem ile yapılan kaynak, hidrojenin neden olduğu soğuk çatlaklara karşı en emniyetli kaynak teknolojisidir [2,5]. X-70'i de içeren tüm çelik boruların oldukça küçük bir bölümü hariç, kombinasyon metodu ile kaynak edilebilmektedir. Günümüzde yapılan uygulamaların sonuçlarına bakıldığında kök paso ile üst paso arasında, selülozik örtülü elektrot ile yapılabilecek kaynak kalınlığı ancak 25 mm'ye kadar olabilmektedir [3,5].

1985 yılında Almanya'da Megal II Projesi'nde ilk defa 3,2 km'lik kısım X-80 borulardan, gerisi X-70 borulardan oluşan bir hat döşenmiştir.

#### 2.2. Büyük Çaplı Boruların Kaynağı

X-80 boruların başarıyla kaynak edilebilmesi için bazik örtülü yukarıdan aşağıya doğru pozisyonlar için geliştirilen elektrotlar kullanılmalıdır. Söz konusu elektrotlar uygun teknolojik ve mekanik özelliklere sahiptir. Şekil 2.4'te verilen kaynak profilinde E10018 elektrotu ile yapılan kaynak işleminde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Bu dolgu malzemesi (elektrot) ilk defa 1992 yılında Almanya'daki bir projede X-80 boruların kaynağında kullanılmıştır [3]. (Schluechtern-Werne: 250 km 48" (inç)). Boruların kaynak metalinden alınan numunelerde yapılan testlerin çarpma sonuçları verilmiştir (Şekil 2.4).

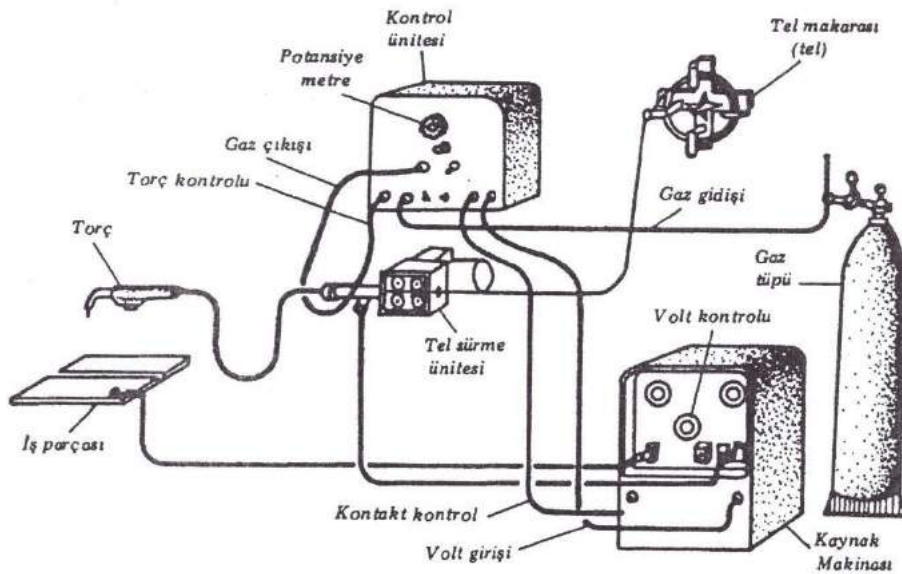




Şekil 2.4 EN 1597-1: AWS 10018-G elektrotu ile yapılan kaynak metalinin özellikleri [5]

## 2.2. Dolu ve Özlü Tel Elektrotlar İle Yapılan MAG Kaynağı

MAG kaynak yönteminde örtüsüz ve çok ince bakır kaplı çıplak tel elektrot kullanılır. Bu kaynaktaki cüruf oluşumu yoktur. Oldukça temiz yüzeye sahip kaynak dikişleri oluşur. Sıyrıntı çok az olup elektrot kaybı minimum seviyededir. Ayrıca yöntem sürekli olarak beslenen dolu ya da özlü tel ile ve kaynak bölgesine bir tüpten basınç düşürme manometresi üzerinden sağlanan koruyucu gaz ile yarı otomatik olarak uygulandığından oldukça kolay gerçekleştirilir. Hızlı bir yöntem olup otomasyona da uygundur. Bu bakımdan boru hatlarının kaynağında otomatik uygulama ön plana çıkmıştır [9].



Şekil 2.5 MAG gaz altı kaynak donanımı [10]

### 2.3.MAG Kaynak Yönteminde Kullanılan Koruyucu Gazlar

Bütün gaz altı kaynak yöntemlerinde olduğu gibi bu yöntemde de koruyucu gazın, ark bölgesini tamamen örtmesi ve atmosferin olumsuz etkilerinden korunması gerekir.Koruyucu gaz ergimiş kaynak banyosu içindeki alaşım elementlerinin atmosferdeki oksijen ile reaksiyona girmesini engellemek, azot ve hidrojen gibi diğer zararlı gazların sıvı kaynak banyosunda çözülerek ark bölgesine girmesini önlemek işlevini yerine getirir. Ergimiş haldeki hemen hemen tüm metaller havadan oksijen ve azot absorbe ederler.Ergimiş metalde çözünen bu gazlar katılaştan kaynak metalindeki elementler ile birleşir ve yeni bileşikler oluştururlar. Bu olay kaynak metalinin kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkiler, gözenek oluşumuna ve gevrekleşmeye neden olurlar [5, 9].

Genelde C-Mn çeliklerinin MAG kaynağında en yaygın kullanılan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) gazıdır. Ancak saf CO<sub>2</sub> kullanımı halinde sıçrama kayıplarının fazla olması ve kaynak telinde bulunan Mn, Si gibi elementlerin ark içinde yanarak kaynak dikişinde yeterli alaşımlama yapılamaması ve son yıllarda boru malzemesindeki gelişmeler, ayrıca darbeli MAG kaynağının kullanıma girmesi ile tüm pasoların yapılmasında Ar + CO<sub>2</sub> ikili karışımları kullanılmaya başlanmıştır. Zira bu karışımlar ile kaynak metalinde gözenek oluşum tehlikesi hemen hemen ortadan kalkar iken daha mukavemetli ve az sıçrıntılı kaynak yapmak mümkün olmuştur. Günümüzde %80 Ar + %20 CO<sub>2</sub> karışım gazları daha çok tercih edilmektedir.

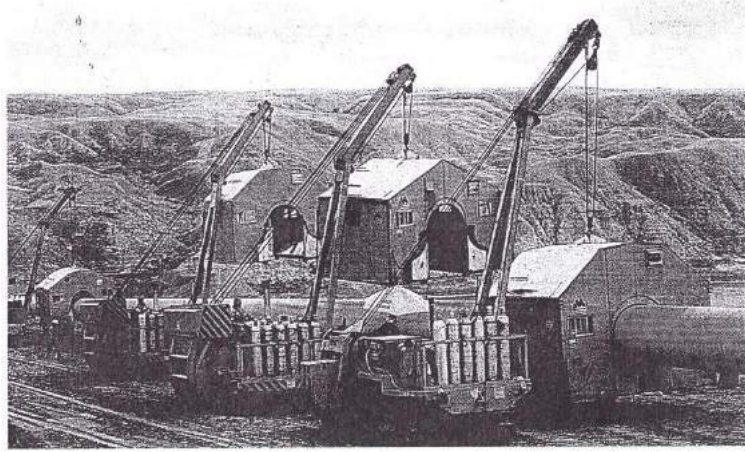
### 2.4.Boru Hatlarının Otomatik Kaynağında Kullanılan Tel Elektrotlar

Boru hatlarında özellikle doğalgaz borularında basıncın yüksek olması dolayısı ile yüksek kaliteli X-70, X-80 borular kullanılarak boru et kalınlığının azaltılması ile kalın etli borularda ortaya çıkan gevrek kırılma problemi önlenmeye çalışılmıştır. Bu gelişmeler otomatik kaynakta daha mukavemetli kaynak metali veren tel elektrotların kullanımını gerektirmiştir. Bu teller AWS standardına göre ER70S-6 kalitesinde üretilirler. Bu tellerin dayanım özelliklerini iyileştirmek ve ince taneli kaynak dikişi elde etmek için Ti ile modifiye edilmiştir. Özel olarak üretilmiş bu teller ile özellikle Kanada ve Avrupa'da yapılmış boru hatlarında kullanılan 36" (inç) 914 mm çapında ve 0,662" (inç) 15 mm et kalınlığındaki boru çeliklerinin başarılı kaynak dikişleri gerçekleştirilmiştir. X-70 boru çeliğinin kullanıldığı bu hatlarda kaynak dikişindeki hidrojen gevrekleşmesi tehlikesi de ortadan kaldırılmıştır. X-80 kalite boru çeliklerinin kaynağında darbe mukavemet değerlerini elde edebilmek için bazik elektrotların yerine metal özlü tel elektrotlar geliştirilmiştir ve E81T1Ni1 teli en çok tercih edilen teldir [11, 12]. Ülkemizde son zamanlarda API X-65 ve X-70 çelik boruların orbital otomatik kaynağında kullanılmak üzere AWS A5.29 standardına uygun dikişsiz E81T1-Ni1H4, 1,2 mm çapında rutil özlü tel kullanılmıştır. Kök pasoda ER-70S-6 masif (dolu) tel kullanılarak 40" (inç) çapında X-65, 36" (inç) çapında X-70 çelik borular kaynatılarak iyi sonuçlar alınmıştır [12].

**Çizelge2.2** X-65 ve X-70 kaynaklarına ait Mekanik test sonuçları [12]

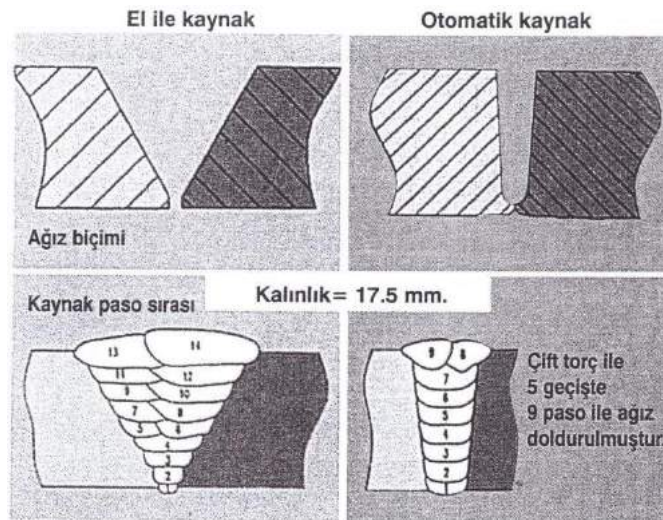
Malzeme	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	A.D/Ç.D	Uzama (%)	Kopma
X 65 ana malzeme	525	624	0.84	21,5	-
X70 ana malzeme	542	619	0.82	22	-
Saf kaynak metali	537	619	0.86	23	-
X65 kaynak metali	529	634	0.83	-	Ana malzeme
X70 kaynak metali	549	668	0.82	-	Ana malzeme

Boru hatlarında kullanılan otomatik MAG kaynak makinaları kök pasosunda iç kısımdan yapılabilecek konstrüksiyonlarda geliştirilerek, makinanın sahip olduğu donanım sayesinde hem ağızlaşma hem de kaynak problemi ortadan kaldırılmıştır. Orbital kaynak yöntemi adı ile anılan bu yöntemlerde geliştirilen makinalar yardımı ile borunun dışarıdan da kaynağı rahatlıkla yapılabilmektedir. Yöntemde kullanılan koruyucu gazın iklim koşullarında ve arazi şartlarında esen rüzgar ile etkisini kaybetmemesi, kaynak yerini örten ve taşınabilen kulübe sistemi ile ortadan kaldırılmıştır (Şekil 2.6).



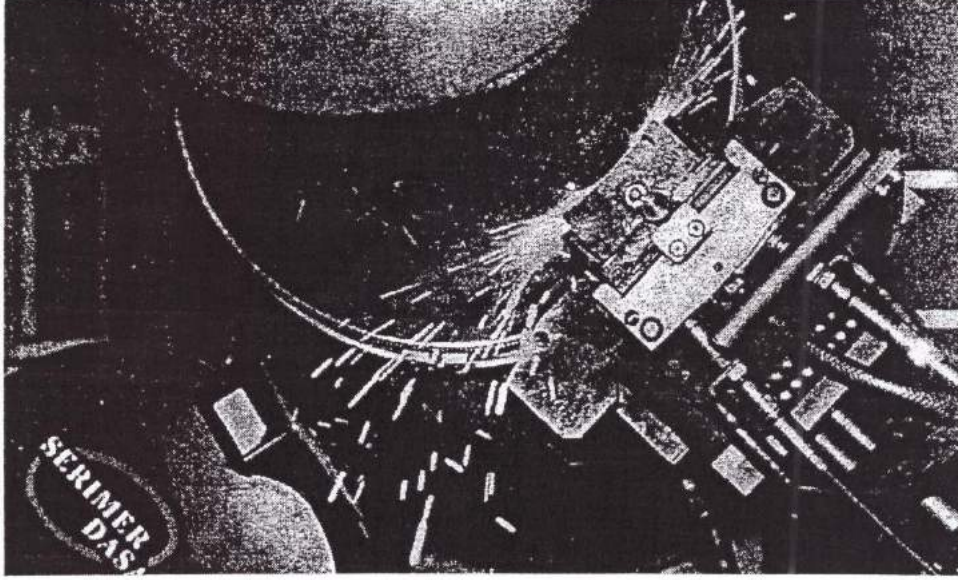
Şekil 2.6 Portatif kaynak kulübesi yardımı ile koruyucu gazın esen rüzgarlarda uçmadan etkili kullanımı [2]

Otomatik boru kaynağında hazırlanacak olan kaynak ağız, örtülü elektrot için hazırlanan kaynak ağızına göre daha az açılarak dolgu malzemesi tüketiminde ekonomi sağlanmaktadır (Şekil 2.7).



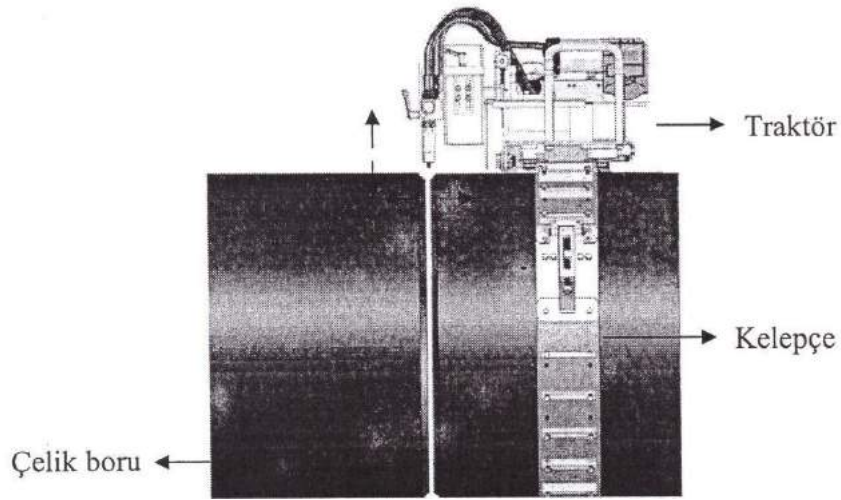
Şekil 2.7 Boru çeliklerinin kaynağında el ile yapılan kaynakta ve otomatik kaynakta, kaynak ağızlarının karşılaştırılması [5]

Otomatik kaynak makinaları, tek torçlu, çift torçlu ve çok torçlu olarak piyasaya sunulmaktadır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Çift torçlusaturnax kaynak sisteminin boru dış kaynağına uygulanması [5]

Günümüzde boru hatları kaynağı için geliştirilen makine ve orbital MAG kaynak yöntemleri ile kök paso dahil olmak üzere sıcak, dolgu ve kapama pasoları tüm pozisyonlarda güvenilir bir şekilde atılabilmektedir (Şekil 2.9).



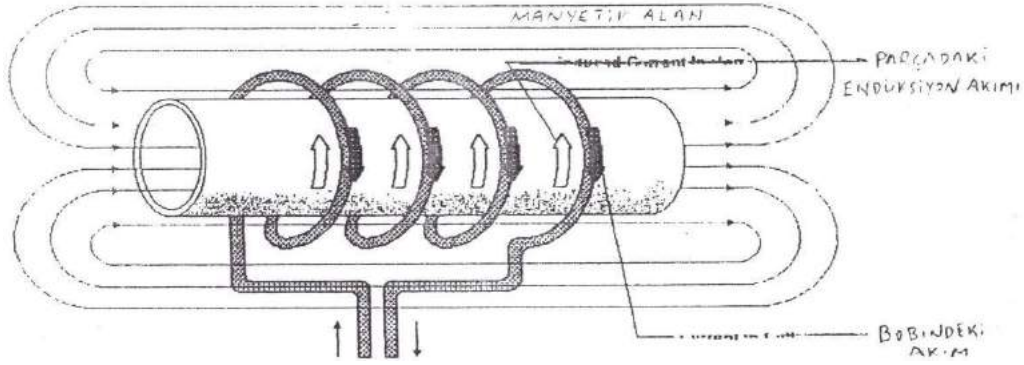
Şekil 2.9 Orbital kaynak sisteminin şematik görünümü [12]

## 2.5. Boruların Endüksiyon İle Ön Tavlanması

Boruların ön tavlanmasında çok uzun zamandan beri ve halen propantorçları kullanılmaktadır. Bu uygulama düşük mukavemetli boru çelikleri için oldukça kabul gören bir uygulamadır. Alevle ön



tavlama eğer uygun bir şekilde uygulanmaz ise, epoksi boru kaplamasına zarar verir. Bu nedenle bilinen ve mevcut olan alternatif yöntemlere ilgi çekilmesinde yarar vardır. Endüksiyon ile ön tavlama alev kullanmadan demir esaslı malzemelerin etkili tavlama sırasında temassız çalışan bir yöntemdir. Yöntemde bobine çok yakın alanda alternatif akımla manyetik alan yaratan enerjilenmiş bobinler kullanılır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Endüksiyon bobinleri vasıtasıyla manyetik alan oluşumunun şematik gösterimi [4]

Alternatif akım alanı demir parçalarını etkileyen Eddy akımları yaratır. Dolayısıyla akım akışında dirence bağlı olarak bir ısı oluşur ( $I^2R$ ). Yüksek frekans için özel bir tel bobin haline getirilir. A.A., uygulamaları, bobinlerdeki  $I^2R$ 'den dolayı oluşan sıcaklığı minimuma indirir. Böylece bobin, direnç elemanlarından daha soğuktur, kolay ve emniyetle taşınır.

Alevle ve doğrudan ısıtma elemanlarının tersine, endüksiyonla ısıtma yüzeyde daha düşük sıcaklık dereceleri oluşturduğundan epoksi kaplamalara zarar vermez veya yerel metalürjik hatalara neden olmaz. [4]

Tavlama hızı endüksiyon sisteminden dağılan enerjinin miktarına bağlıdır. Ön tavlama spesifikasyonlarına ulaşmada geçen toplam zaman, başlama noktasına ve boru boyutlarına bağlıdır ..

### 3.SONUÇ

Dünyada daha uzun yıllar petrol ve doğalgaz yakıtlarının işletileceği, petrol ve doğalgazın da kullanım bölgelerine hızla taşınmalarının yapılacağı tahmin edilmektedir. Bu nedenle de daha büyük çaplı ve daha tok çeliklerin üretimini zorunlu kılmaktadır. Bugün yaygın olarak kullanılmakta olan X-70 sınıfı çeliklerden imal edilen ve karada döşenen boruların kaynağı genel olarak yukarıdan aşağı doğru kaynak pozisyonu için imal edilen selülozik örtülü elektrotlar ile yapılmaktadır.

X-80 gibi daha yüksek çekme dayanımına ve mekanik özelliklere sahip borularda ya da cidar kalınlığı fazla, çekme dayanımı biraz daha düşük borularda kök pası ve sıcak pasın selülozik örtülü elektrotlarla yapılması önerilmektedir. Diğer dolgu ve kapak paslarının da bazik ve selülozik elektrotların kombinasyonu olan elektrotlarla yapılması iyi sonuç vermektedir. Yakın gelecekte X-100 sınıfı (Çekme dayanımı =  $\sigma_a \geq 690$  olan) boruların manuel kaynak işleminin E11018-G elektrotları ile yapılması uygun olacaktır.

Son yıllarda geliştirilen, otomatik MAG ya da orbital MAG kaynaklarında ise kök pasonun ER70S-6 masif tel ile dolgu ve kapak pasolarında ise E81T1Ni1 metal özlü ya da E81T1-Ni1H4rutil özlü tel elektrotların kullanılması uygun olacaktır. Otomatik MAG kaynak yöntemi ile dolu ve özlü kaynak telleri kullanmak için geliştirilmiş farklı sistemler piyasada bulunmaktadır. Bu tür donanımları satın alırken göz önünde bulundurulması gereken hususlar;

- Kaynak yapılacak borunun çapı ve cidar (et) kalınlığı,
- Boru hattının kaç km olduğu ve ne kadar zamanda tamamlanması gerektiği,
- Boru hattının döşenmesi esnasındaki iklim ve arazi şartları,
- Borunun çevresel kaynağa uygunluğu,

Sistemin seçiminde önemli rol oynar.

## **KAYNAKÇA**

[1] TEKİN, E., “API Standardı Petrol ve Doğalgaz Boruları Çeliklerine Genel Bir Bakış” TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Yayını, Sayı 162, Temmuz 2012, ANKARA.

[2] Arctech Kaynak Elektrotları San. Ve Tic. A.Ş., Boru Hattı Kaynaklarında Yeni Uygulamalar, 2000 İSTANBUL.

[3] HARMSSEN, H., PERTENEDER, E., KÖNIGSHOFER, H., MLEKUSCH, J., “ThePresentState Of PipelineGirthWeldingWrthCoveredElectrode” İ.T.Ü. 11-13 May , 1998 İSTANBUL.

[4] Latvis, S.D.,Valentini, T.N., “TechnologyTrends – OvercomingİssusWithWelding High StrengthPipe” Miller ElectricCompanyand TTW Brothers, SeminarNotes U.S.A 2001.

[5] KALUÇ, E., TÜLBENTÇİ, K. “Boru Hatlarında Otomatik MIG/MAG Kaynak Yönteminin Kullanılması” TMMOB Makina Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, 19-20 Ekim 2001 İSTANBUL.

[6] <https://www.exportersindia.com/san-george-pipeline/pneumatic-internal-pipe-line-up-clamp-mumbai-india-1301184.htm>

[7] <https://www.exportersindia.com/san-george-pipeline/hydraulic-internal-pipe-line-up-clamp-mumbai-india-1301182.htm>

[8] Vietz, E., MAG-Welding in Pipeline Construction WithUnitesAndPowdered Metal Wire, “PipelineWelding, İ.T.Ü. 11-13 May 1998 İSTANBUL.

[9] TÜLBENTÇİ, K., “MIG/MAG Gazaltı Kaynak Yöntemleri” Arctech Kaynak Elektrotları San. Ve Tic. A.Ş., 1998 İSTANBUL.

[10] ERTÜRK, İ., “Gazaltı Kaynak Teknikleri” Nuriş Elektrik ve Kaynak Makinaları San. ve Tic. A.Ş. 2004 ANKARA.

[11] ENGİNDENİZ, E.,Gazaltı Özlü Telleri İle MAG Orbital Kaynağı”, Oerlikon Kaynak Elektrotlar A.Ş, 1996 İSTANBUL.



[12] KOÇAK, M., TANSUG, D., DİLİBAL, S., “Robotlu Mekanize ve Orbital Kaynak Uygulamalarında Operatör Eğitimi” TMMOB Makine Mühendisleri Odası Kaynak Teknolojileri IX. Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı 20-21 Kasım 2015 ANKARA.

## ÖZGEÇMİŞ

Yrd. Doç. Dr. İBRAHİM ERTÜRK

- 1945 yılında Ankara’da doğdu
- İlk, orta ve yükseköğrenimini Ankara’da tamamladı.
- Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü’nden 1967 yılında mezun oldu.
- 1988’de Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Yüksek Lisansını, 1994 yılında Endüstriyel Teknoloji Eğitimi’nde doktorasını tamamladı.
- 1967-1979 yıllarında MEB Meslek Liselerinde öğretmen, müdür yardımcısı ve müdür olarak görev yaptı.
- 1979-1994 Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi’nde öğretim görevlisi, 1994-2012 yılları arasında aynı fakültede öğretim üyesi olarak çalıştı. Bu süre içerisinde bölüm başkanlığı ve dekan yardımcılığı görevlerinde bulundu.
- 2005’te Almanya’nın Duisburg-Essen Üniversiteleri’nde Teknoloji eğitimi konularında inceleme ve araştırmalarda bulundu.
- Alanı ile ilgili çok sayıda bildiri, makale, yayın ve projeleri bulunmaktadır.
- 1979’dan günümüze kamu ve özel kurumlara danışmanlık hizmeti vermektedir.

# LAZER KAYNAKLI RADYATÖR TASLAK TASARIMLARI

Prof. Hüseyin ÖZDEN

Mak. Müh. Bölümü, Ege Üniversitesi; e-posta: [huseyin.ozden@ege.edu.tr](mailto:huseyin.ozden@ege.edu.tr)

**ÖZET** Farklı özelliklere sahip karma malzemeli lazer kaynak bağlantılı inovatif radyatör tasarımları geliştirilmiştir. Çelik tablalı alüminyum, bakır kaplamalı inovatif radyatörlerin üretimi pulslu (atımlı) lazer kaynak yöntemleri ile teknik, ekonomik değer açısından mümkündür. Geçmişte karşılaşılan kaynak bağlantılı sorunlar, günümüzde atımlı lazer kaynak yöntemleri ile giderilmektedir. Uygun atımlı lazer parametrelerin secimi ile özellikle lazer puls formu, (atım formu) ile malzemelere aktarılan ısı enerji dozajı malzemelerin dayanım özelliklerini aşırı etkilenmeden bağlantı sağlanmaktadır. Lazer kaynaklı radyatör tasarımlarının Dünya Pazarlarında serbest rekabet koşullarında kazançlı satılabilir nitelikte olmaları hedeflenmiştir. Lazer kaynak bağlantılı radyatör tasarımları başlıklı çalışma, lazer kaynaklı tasarımlar alanında sürdürülen bilimsel araştırmalara katkı amaçlıdır. Yürütülen proje çalışmasından patent önerisi hazırlanmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Lazer Kaynağı, İnovatif, Radyatör, Tasarım, Araştırma

## LAZER WELDED RADIATOR DESIGNS

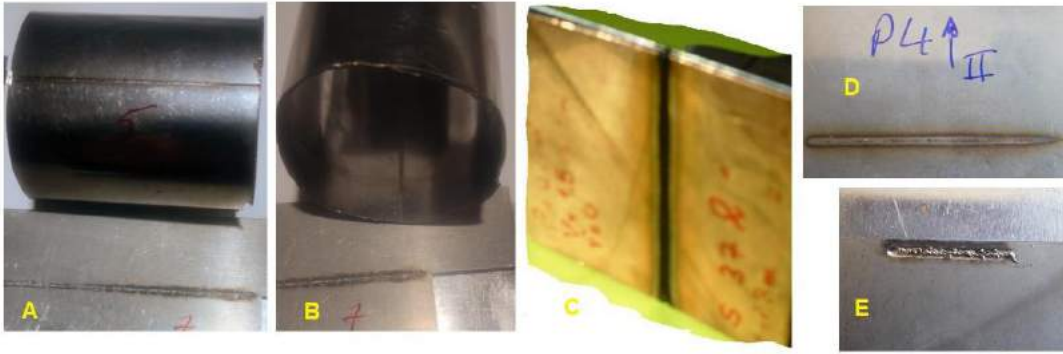
**ABSTRACT** Innovative radiator designs with mixed material laser welding connections with different features have been developed. The production of steel-plated aluminium and copper-coated innovative radiators is possible in terms of technical and economic value with pulsed laser welding methods. Welding-related problems encountered in the past are now solved by pulsed laser welding methods. By choosing appropriate pulsed laser parameters, especially the laser pulse form, the heat energy dosage transferred to the materials is ensured without excessively affecting the strength properties of the materials. It is aimed that laser welded radiator designs can be sold profitably in the World Markets under free competition conditions. The study titled Laser welded radiator designs aims to contribute to scientific research in the field of laser welded designs. A patent proposal has been prepared from the project work carried out.

**Key Words:** Laser Welding, Innovative, Radiator, Design, Research,

### 1. GİRİŞ

Bilim ve teknolojiye hızlı gelişmeler, yeni tekniklerin yöntemlerin ortaya çıkmasına neden oluyor. Geçmişte teknik ekonomik değer açısından mümkün olmayan hayallerin, makina tasarımların yapımları günümüzde kolaylıkla yeni teknolojilerle kabul edilebilir kalitede gerçekleşmektedir. 20ci Yüzyılda **Elektron** (atom altı tanecikler) İnsanlık yaşamında, sanayide belirleyici iken günümüzde ve gelecekte **Photon**, foton (ışık tanecığı, temel birimi) günümüzde ve gelecekte sanayide belirleyici olacaktır. Endüstri 4.0 Sanayi devrimi, lazer teknolojisindeki gelişmelerin bir sonucu olarak önem kazanmaktadır. İnsansız, karanlık fabrikalar da lazer, temassız çok amaçlı bir takım olarak yerini almaktadır. Lazerler mal ve hizmet üretiminde, konvansiyonel üretim yöntemlerinin yerine tercih edilmektedir. Çoğunluk konvansiyonel teknolojiler, yöntemler gelişme süreçlerini tamamlamışken, lazer teknolojileri gelişme süreçlerin başında sayılırlar. 20 sene evveline kadar lazer kaynak makinaları; hantal ağır, büyük yer kaplayan, verimleri çok düşük, fakat fiyatları pahalı ve maliyetleri yüksekti. Bu nedenle sanayide kullanımları sınırlı kalmıştır. 2000 Yılların başlarından itibaren yüksek güçlü, randımanlı ve iyi kaliteli fiber lazer kaynak makinaları piyasaya sürülmüştür. 2015 yıllarından sonra kompakt ve sırt çantası büyüklüğünde ve yüksek güçlü diyot lazer kaynak makinaları popüler olmağa başlamıştır. Diyot lazer kaynak makinelerin güç, kalitelerinin artırılması ve fiyatların düşmesiyle lazer kaynağı gibi lazer üretim yöntemlerinin küçük sanayiciler tarafından da kullanımını yaygınlaştıracaktır. Diyot lazer makinalarında sürdürülen yoğun ARGE-çalışmaların bir sonucu olarak, lazer silahlarına olan ilgiyi artırmaktadır. Tıpta sağlık, kozmetik sektöründe lazer tanı, tedavi yöntemlerinde ve analizlerinde daha güvenli kullanılacağı yaygınlaştıracağı öngörülmektedir. Günümüzün ve geleceğin iletişim, bilişim teknolojilerin özellikle insansı robot, yapay zeka teknolojilerin hızlı gelişimi lazer teknolojilerindeki gelişmelerle paralel olarak gerçekleşmektedir. Endüstri 4.0 Devrimi, lazer teknolojisindeki gelişmeler sonucu önem kazanmıştır. /1-6 /

Yeni bilgiler, yeni teknolojiler; yeni imkanların bir çok farklı yeniliklerin inovasyonların ortaya çıkmasına vesile olmaktadır. Basit bir örnek: Düne kadar ergitme, sürtünme kaynak yöntemleri ile mümkün olmayan yada teknik ekonomik değer açısından kazançlı olmayan kaynak bağlantılı tasarımlar, makinalar; günümüzde lazer kaynak yöntemleri ile mümkün olmaktadır /2, 3/. Şekil 1 de, farklı lazer kaynak dikişleri yer almaktadır. Farklı kaynak dikişleri, uygun parametrelerin secimi ve edinilen deneyimler ile kabul edilebilir kalitede kaynak bağlantılarının elde edilebileceği teyit edilmiştir. Ve edilen bilgi ve deneyimlerin lazer kaynak bağlantılı radyatör tasarımlarının üretiminde kullanılması kararına geçilmiştir. Sanayide konvansiyonel radyatör üretimleri ile ilgili zorlukların, sorunların giderilmesi için, lazer üretim yöntemleri, lazer kaynak yöntemleri kullanılarak alternatif çözümler araştırılmıştır. Punta, disk direnç kaynak yöntemlerinin neden olduğu hatalar, lazer kaynağı ile giderilmeğe çalışılmıştır. Çalışmanın diğer aşamasında ise, lazer üretim yöntemlerine uygun taslak tasarımların geliştirilmesi ve tartışılması yer almaktadır. Çok sayıdaki taslak çizimler ortaya konulmuş ve değerlendirilmiş, çalışmada örnek şekiller gösterilmiştir.



Şekil 1, Farklı lazer kaynak bağlantıları. (Teneke boru kaynağı, dıştan A ve içten B görüntüsü, Çelik Ve Bakır bindirme kaynağı C, Çelik alın kaynağı D, Çelik ve Alüminyum Bindirme kaynağı E)

## RADYATÖRLER

Radyatörler konut işyeri gibi binaların kapalı mekânlarının yaşam alanlarının ısıtma, klimalandırma amaçlı sanayi ürünleridir. Isıtma soğutma ve üretim teknik sahası ile ilgilidir. Şekil 2. Farklı boyutlarda yaygın kullanılan radyatörlere örnek, üretici firmanın kataloğundan seçilmiştir /1/. Prensip olarak aldığı ısıyı, enerjisini ortama hava devridaimi ile yayarak ısıtmaktadır. Mevcut radyatörler döküm, plastik şekil verme yöntemleri ve elektrik direnç kaynak birleştirme yöntemlerinin uygulanması ile üretilmektedirler. Yaygın olarak presleme ve elektrik direnç birleştirme yöntemleri uygulanmaktadır. “Radyatör üretiminde lazertechnoloji uygulamaları” konulu projede elektrik direnç kaynak yöntemleri (Resistance Welding) ile üretilen radyatörlerin fotoğrafları Şekil 2 ve Şekil 3 gösterilmektedir. Satışa hazır farklı boyutlarda üretilen radyatörleri Şekil ve bir radyatörün genel yapısını ve bilgilerini içeren diğer bir görüntü ise Şekil 2, I de yer almaktadır. Elektrotlarla noktasal gerçekleştirilen elektrik direnç nokta (punta) kaynaklı, (Resistance spot Welding, RSW) ve disk elektrotlarla sürekli gerçekleştirilen elektrik direnç dikiş kaynaklı, (Resistance Seam Welding, RSEW) farklı radyatörlerin fotoğrafa görüntüleri, Şekil 2, II ve III de gösterilmektedir. Üretim süreçlerinin, aşamalarının bir hayli fazla olan üretim bantlarında radyatörleler imal edilmektedir. Eski döküm radyatörlerin imalatı günümüzde bulunmamaktadır. Alüminyum bakır çelik malzemelerinden borulardan tasarlanan farklı kullanım amaçlı özel radyatörlere de rastlanılmaktadır.



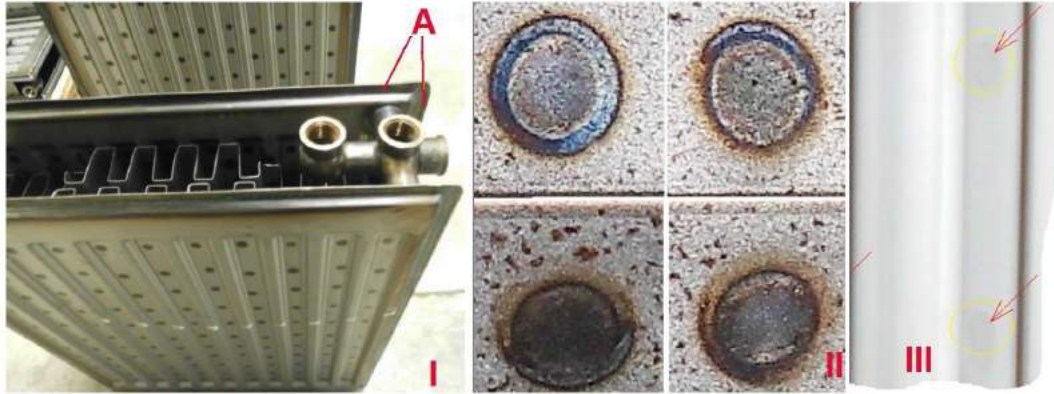
Şekil 2. Farklı Radyatör panel görüntüleri /ECA-Manisa, Radyatör Kataloğ/

Literatürde; binaların ısıtılmasında kullanılan radyatörlerin ısıtma randımanlarının artırılması ve radyatör imalatında ortaya çıkan hatalarının ve kullanım süresi içinde korozyon aşınması gibi sorunların giderilmesi yönünde bilimsel yayın çalışmaları bulunmaktadır. /1,7,8,9 /. Radyatör üretim maliyetin düşürülmesi, rekabet edebilirliğin korunması günümüzde çok daha fazla önem arz etmektedir. Teknik ve ekonomik değeri yüksek tasarımlar, ürünler serbest piyasa koşullarında iç ve dış pazarlarda rekabet edebilme şansları bulunduğu herkesin malumudur. Müşteri isteklerinde değişken radyatör modelleri, talepler; beklentiler de artmaktadır.

## 2. RADYATÖR İMALAT HATALARI

Klasik radyatör imalatında ortaya çıkan teknik ve ekonomik sorunlar önem sırası dikkate alınmadan sıralanması:

1. Punta ve disk direnç kaynak dikişlerinde ortaya çıkan süreksizlikler, yetersiz hatalı bağlantıları, üretim, (Şekil 2-I, II)
2. Yüzleri işlenmiş, boyanmış, satışa ve kullanıma hazır haldeki radyatörlerde görülen sırttan punta kaynak dikişleri izleri, şekil 2-III. Bu görüntüler müşteriler tarafından olumsuz bakılmakta kusurlu görülmektedir.
3. Su oluklu radyatör panel kenarlarının birbirlerine kaynağında kullanılan disk direnç kaynağında yaklaşık 10 mm olan genişliğinde metrelerce uzunluğunda alanın bırakılması gerekiyor, Şekil 2 – I, A. onbinlerde radyatörün üretimi düşünüldüğünde malzeme kaybın ihmal edilmeyecek kadar büyük olduğu görülüyor.
4. Korozyon etkisi ve zamanla ortaya çıkan sızdırmazlığın yeteri sağlanamaması.
5. Üretim bandında imalat süreçlerin fazlalığı, kaynak sonrası zaman alıcı ve maliyetli mekanik ve ısıtma işlemler
6. Elektrotların kaçınılmaz aşınmaları ve hasar görme olasılıkları ve değişimleri
7. Yüksek elektrik enerji sarfiyatı
8. Üretim hızlarının sınırlı olması
9. Malzeme seçiminde kaynak kabiliyeti kriteri nedeniyle kısıtlama
10. Farklı malzemelerin ergitme kaynağında zorlukların olması
11. Elektrik direnç kaynak yöntemlerin gelişme süreçlerini tamamlamaları
12. Radyatörlerin ısıtma verimlerinin kısıtlı kalmaları...



Şekil 3, Elektrik direnç, punta kaynaklı radyatör panel görüntüleri,

Şekil 3 de örnek olarak gösterilen klasik radyatörlerin imalat aşamalarında ortaya çıkan aksaklıkların hataların giderilmesinde zorluklar yaşanıyor. Bu gibi zorlukların, sorunların üstesinden klasik çözüm yöntemleri, günümüzde yetersiz kalmaktadırlar. Bilindiği gibi, enerjiden, malzemedan, süreçlerden, işçilikten tasarruf gibi baskılar da radyatör üretiminde yeni tasarımların, yeni teknolojilerin, yöntemlerin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Son yıllarda lazer üretim yöntemlerine uygun radyatörler üzerinde bilimsel çalışmalar sürdürülmektedir. Lazer kaynaklı radyatörler hakkında, ülkemizde yayın çalışmalarına literatür taraması aşamasında ülkemizde rastlanılmamaktaydı. Lazer teknolojisinin gelişmekte olması ve sürekli yeniliklerin tekniklerin ortaya çıkması veri ve tecrübe azlığının bir nedenidir. Atımlı Lazer makinaların pahalı olması diğer bir neden olarak görülmektedir.

## 3. LAZER KAYNAKLI RADYATÖR İMALATINDA HEDEFLENENLER

Radyatörlerin üretiminde bu gibi teknik ve ekonomik sorunların çözümünde Lazer üretim teknolojileri, lazer kaynağı olmazsa olmazdır. Projede lazer üretim yöntemlerinin radyatör imalatında uygulanması ile hedeflenenlerin başında;

- Kaynak dikişlerinin dolayısı ile radyatörlerin dayanımını, kalitesini artırmak,
- Malzemeden tasarruf ederek ve üretim süreçlerini azaltarak, üretim hızını artırarak üretim maliyetlerini azaltmak,
- Üretim aşamasında enerjiden tasarruf etmek,
- Üretimde esnekliği artırmak, müşteri ve pazar taleplerine kolaylıkla zaman kaybı olmadan cevap vermek,
- Kontrollü ve tekrarlanabilir güvenli üretim olasılığını yükseltmek,
- Yurt içinde ve yurt dışında rekabet edebilir, sürekliliğine katkı sağlamak,
- Radyatörlerin ısı verimini artırmak, bu suretle enerji tasarrufuna katkı sağlamak,
- İstihdam sağlamak ve artırmak,
- Ülkemizde yeni teknolojilerin uygulanmasını ve geliştirmesine katkı sağlamak, bunun için de gerekli yetişmiş elemanların yetişmesine öncelik vermek,
- Radyatör üretiminde lazertechnoloji uygulamalarında firmalarımızın öncü olmasına olanak sağlamak,
- Ülkenin ve kurumun, sanayi ile ve Almanya ile işbirliklerini artırmağa katkı sağlamak.

#### 4. LAZER ÜRETİM YÖNTEMLERİNE UYGUN RADYATÖR TASLAKLARI

Mevcut radyatör üretiminde karşılaşılan teknik ve ekonomik sorunların giderilmesinde lazer üretim yöntemlerinin uygulanması ve lazer üretim yöntemlerine uyumlu radyatör tasarımları arayışları ile “ Teknik, ekonomik değeri yüksek lazer kaynak dikişli radyatör” tasarımları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, lazer kaynak bağlantılı radyatör taslak tasarımları yapısal, görünüm özelliklerine göre aşağıda görüldüğü gibi sıralanmıştır ve her biri için patent önerisi hazırlanmıştır:

- A. Mevcut elektrik direnç kaynaklı radyatör tasarımların imalatından lazer kaynak yöntemlerinin uygulanması.
- B. Mevcut radyatörlerin lazer kaynak yöntemine uygun tasarlanması.
- C. Lazer kaynaklı karma malzemeli DrH Radyatör tasarımları.
- D. Teknik ekonomik değeri yüksek lazer kaynak dikişli modüler radyatör.
- E. Dıştan lazer bindirme kaynaklı boru sarmalı, şişirmeli devridaim kanallı çok amaçlı kullanımlı DrH Radyatör tasarımları.

Lazer kaynaklı radyatör taslakların birbirinden farklı yapısal özelliklere, görünümlere sahiptirler: Taslakların görüntüleri Şekil 3 - Şekil 14 çalışmanın ekinde yer almaktadır. Her birinin detaylı resimli açıklamaların yerine, çalışmada kısa özet şeklinde bilgi verilmiştir. A Serisi, ile ilgili radyatör taslakları, mevcut radyatörlerde direnç punta ve disk direnç kaynak bağlantıları yerine lazer kaynak dikişli ve lazer lehim bağlantıları kullanılarak üretilmişlerdir. B Serisi, mevcut radyatörler de lazer üretim yöntemlerine göre uygun hale getirilerek hazırlanmışlardır. Tasarımlarında asgari düzeyde değişiklik arayışlarına gidilmiştir. Puntta nokta kaynak dikişlerin kalıcı izleri ve kaynak hataları giderilmiştir. Malzeme en uygun şekilde kullanılmıştır. İmalat süreçleri kısaltılmıştır. Yani temassız Lazerin yüksek enerjisi ile kaynak dikişleri, kesme işlemleri, delme ve yüzey işleme işlemlerin herhangi bir takım değişimine gerek olmadan yapılmaktadır. C Serisi, D Serisi ve E Serisi lazer kaynak dikişli drh inovatif radyatör tasarımları olarak tasarlanmışlardır. Aynı ve farklı karma malzemeli olarak lazer atımlı kaynak dikişli radyatörler olarak tasarlanmışlardır. (Lazer kafası) ile birden fazla işlemin, kaynak, lehim, kesme, delik açma gibi yapılmasıdır. Lazer üretim yöntemlerine uyumluluğu nedeniyle isteğe bağlı olarak aynı ve farklı özellikteki bir den fazla malzemelerden imal edilmesidir.

Diğer alternatif üretim aşamasında ise, gerekli ölçülerde kesilen radyatör levhaları düz bir platforma sahip tezgâhta aralarında boşluk kalmayacak şekilde bastırılarak tutturulduktan sonra lazer kaynağı ile şekillerde gösterildiği gibi kaynak dikişleri çekilerek birleştirilir. Kaynaklanan levhalar içten sıcak hava veya sıcak sıvı basıncı ile su devir daimi için gerekli formlarda kanal boşlukları açılır. Bu işlem sırasında istenilen aynı formun yani öngörülen şekillendirmenin elde edilmesi için şişirme sırasında şablonların (form matrislerin) kullanılmasıdır. Gerekli kanal devirdaim boşlukları açıldıktan sonra, radyatör için gerekli su giriş çıkış deliklerinin, eklemeli deliklerin açılmasına ve manşonların, askılıkların kaynağı gerçekleştirilir. Sıcak, soğuk sıvı, gazların giriş çıkışları için delikler lazer delme yöntemi ile açılmaktadır, vidalı manşonlar lazer kaynak dikişli monte edilmektedir. Modüler Radyatörlerin eklenmesi için uçlar birbirine geçmeli erkek dişi olarak imal edilmektedir.

“ Teknik, ekonomik değeri yüksek lazer kaynak dikişli modüler radyatör ” buluşu buluşun mevcut radyatörlerin prensip yapıları aynıdır, üretim yöntemleri farklıdır. Bu farklılıkların yanında sıvı, gazla ısıtma ve soğutma özelliklerinin entegre edilmesidir. Mevcut radyatörlere kıyasla ince yapıları nedeniyle duvar içinde aynı hizaya gelecek şekilde acık gömmeli olarak monte edilmeleridir. Duvar tarafında ısı aktarımını kesmek için yalıtımlı malzeme ile kaplanmaktadır. Diğer alternatif tasarım olarak iç radyatör levhası ısı yalıtımlı yüksek seramik, plastik, kompozit gibi malzemeler seçilmektedir. Bunun yanında duvara acık yada kapalı gömme metodu ile dışarıdan bir hava devir daimi örneğin bir fanla sıcak yada soğuk hava ortama yayılmaktadır.

Gerçekleştirilen “ Teknik, ekonomik değeri yüksek lazer kaynak dikişli DRH modüler radyatör ” taslaklar çizimlerle (ŞEKİL 4), (ŞEKİL 5), (ŞEKİL 6), (ŞEKİL 7), (ŞEKİL 8), (ŞEKİL 9 ), (ŞEKİL 10), (ŞEKİL 11), (ŞEKİL 12), (ŞEKİL 13), (ŞEKİL 14), (ŞEKİL 15) açıklamaktadır. Şekillerdeki parçalar numaralandırılmış olup parça listesi aşağıda gösterilmiştir. (Şekillerin ve referansların detaylı açıklaması bu çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.)

ŞEKİL 4: Çift sıralı, dıştan lazer bindirme kaynak dikişli, şişirmeli, şişirmesiz devirdaim kanallı tek yüzlü, çift yüzlü modüler radyatör tipi

ŞEKİL 5: Çift sıralı uçları yuvarlatılmış dıştan lazer bindirme kaynak dikişli şişirmeli, şişirmesiz devirdaim kanallı tek yüzlü, çift yüzlü modüler radyatör tipi,

ŞEKİL 6 : Tek sıralı dıştan lazer bindirme kaynak dikişli şişirmeli, şişirmesiz devirdaim kanallı tek yüzlü, çift yüzlü köşeli modüler radyatör tipi

ŞEKİL 7 : Tek sıralı dıştan lazer bindirme kaynak dikişli şişirmeli, şişirmesiz devirdaim kanallı tek yüzlü, çift yüzlü yuvarlatılmış köşeli modüler radyatör tipi

ŞEKİL 9: Serpme elips formulu dıştan lazer bindirme kaynak dikişli şişirme, şişirmesiz devirdaim kanallı tek yüzlü, çift yüzlü modüler radyatör tipi

ŞEKİL 10 : Serpme dairesel formulu dıştan lazer bindirme kaynak dikişli şişirme, şişirmesiz devirdaim kanallı tek yüzlü, çift yüzlü modüler radyatör tipi

ŞEKİL 11: Dairesel helezonlu, dıştan lazer bindirme lazer kaynak dikişli şişirmeli devirdaim kanallı modüler radyatör tipi

ŞEKİL 12: Dörtgen labirentli dıştan lazer bindirme lazer kaynak dikişli şişirmeli devirdaim kanallı modüler radyatör tipi

ŞEKİL 13 : Boru sarmalı modüler radyatör tipi

ŞEKİL 14 : Dıştan lazer bindirme kaynaklı boru sarmalı şişirmeli devirdaim kanallı modüler radyatör tipi

ŞEKİL 15: Dıştan lazer bindirme kaynaklı boru sarmalı şişirmeli devirdaim kanallı ve kendiliğinden hava sirkülasyonlu modüler radyatör tipi

DRH Radyatörleri, lazer üretim yöntemlerine uyumlu yeni tip yenilikçi radyatörlerin tasarım taslaklarıdır. Mevcut radyatörlerin tasarımları ve üretim süreçleri incelenerek ve 21. Yüzyıl teknolojisinde belirleyici olan Lazertechnoloji dikkate alınarak geliştirilmişlerdir. Boyut değerleri dikkate alınmadan taslak çizimlerle açıklanmaktadır. Endüstride çok amaçlı ve yaygın geniş kullanım alanı öngörülmektedir. DRH Radyatörleri, Birbirinden farklı Mevcut radyatörlerden ayıran farklı yapısal ve farklı üretim özellikleri; Lazer üretim yöntemlerine uyumlu tasarlanması ve imal edilmesidir. Dıştan elektrik direnç, disk ve nokta kaynak dikişleri yerine, lazer bindirme kaynak dikişli olmalarıdır. Uzun üretim akış bantları ve gürültülü işlem süreçleri yerine, üretim kabinlerinde işleme süreçlerinin sayısı azaltılarak kaliteli imal edilmeleri ile zamandan, malzemen, ağırlıktan, yer işgalinden, enerjiden ve işçilikten tasarruf edilmesidir.. Mevcut radyatörlerdeki rahatsız edici elektrik direnç nokta kaynak dikiş iz görüntüleri gibi hataların oluşmamasıdır. Aynı veya farklı özellikteki levha şeklinde malzemelerin lazer imalat yöntemleri ile birleştirilerek üretilmeleridir. Teknik, ekonomik değeri yüksek lazer kaynak dikişli modüler radyatör ” taslaklarının diğer mevcut radyatörlerden ayıran başlıca üretim özelliklerinden biri, Bilgisayar destekli lazer üretim yöntemlerine uyumlu robot kollu üretim kabinlerinde üretilerek, üretim süreçlerinin azaltılması, uzun üretim bantlarına ihtiyaç duyulmadan ekonomik kaliteli ve kaliteli ve gürültüsüz imalatları düşünülmüştür. İnsansız üretime uygunluğu söz konusudur.

## 5. SONUÇLAR

- Kaba taslak çizimlerle (ŞEKİL 4), (ŞEKİL 5), (ŞEKİL 6), (ŞEKİL 7), (ŞEKİL 8), (ŞEKİL 9), (ŞEKİL 10), (ŞEKİL 11), (ŞEKİL 12), (ŞEKİL 13), (ŞEKİL 14), (ŞEKİL 15) gösterilen; “Teknik, Ekonomik Değeri Yüksek Lazer Kaynak Dikişli DRH Modüler Radyatör” tanımlı ürünün kaba taslaklarıdır. Kapalı yaşam, çalışma alanlarının, binaların, buzhanelerin, makine sistemlerinin ısıtılmasında ve soğutulmasında kullanılan bir sanayi ürünüdürler.



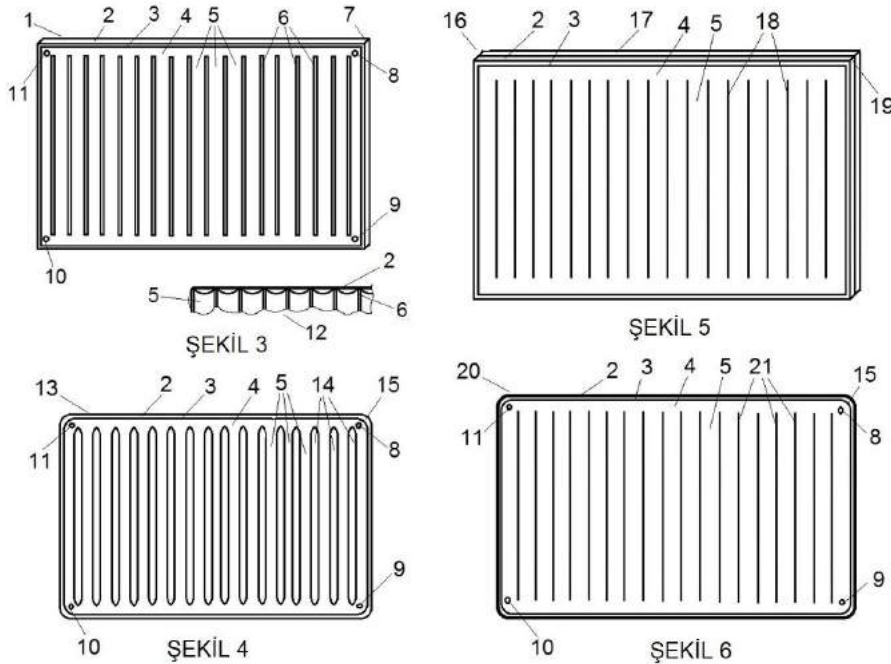
- Mevcut döküm üretimli ve elektrik direnç, disk ve nokta kaynak dikişli DrH radyatörlerden ayıran başlıca farklı özelliği; dıştan lazer bindirme kaynak dikişli, şişirmeli ya da şişirmesiz devirdaim kanallı ve kendiliğinden hava sirkülasyonlu olmalarıdır. Ön radyatör panel kaplamanın ısıtıcı, arka duvara bakan yüzeydeki radyatör tablasının ısı yalıtımlı olarak kullanılma özelliğine sahip olmasıdır. Radyatörlerin soğuk havalarda ısıtıcı, sıcak havalarda ise soğutucu olarak kullanılmaları öngörülmüştür.
- Lazer üretim yöntemlerine uyumlu üretilen radyatör taslakların diğer bir özelliği; çok sayıdaki farklı işlem süreçlerine bağlı kalmadan esnek üretime uyumlu kapalı lazer üretim tezgâhı üzerinde, lazer üretim kabini içinde bilgisayar destekli lazer kaynak dikişlerinin gerçekleştirilerek üretilmeleridir.
- Ön ısıtıcı ön tablasındaki devirdaim kanallarında ısıtıcı soğutucu sıvıların, yağların, gazların ve sıcak buharların kullanılmasıdır. Modüler yapıları ile kapalı alanın büyüklüğüne göre birbirine yan alt ve üst köşelerde bulunan manşonlu bağlantılarla eklenerek gerekli ısıtmanın ve soğutmanın sağlanmasıdır.
- Yeni bilgiler yeni teknolojiler; yeniliklerin, yeni imkanların, yeni inovatif tasarımların, kazançların ortaya çıkmasına vesile olmaktadır. Ülkece, günün ve geleceğin gereksimlerini, yeniliklerini takip, tespit edebilmeliyiz. Ülkemizde kendimizi ve ARGE faaliyetlerimizi birlikte geliştirmeliyiz, önerisi.

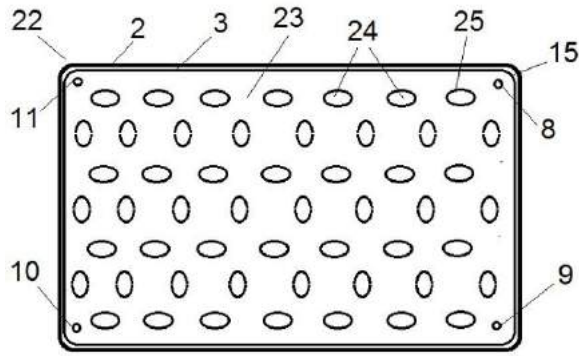
## 6. KAYNAKLAR

- [1] Elginkan ECA, Panel Radyatör Kataloğu. İnternet Erişimi, 8.2023
- [2] Özden H.; “Lazer Kaynağı“, Fen Bilim. Enst./ Makina Müh. / Tezli Doktora Dersi, 2018 Ders Notları
- [3] Özden H., “Lazer Üretim Yöntemleri”, Fen Bilim. Enst./ Makina Müh. / Tezli Yük. Lis. 2018 Ders Notları
- [4] Özden, H., ”Makine Konstrüksiyonu, Ürün Geliştirme İşlemleri, Makine Tasarımı” ders slaytları, EÜ Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Böl. , İzmir, 2013.
- [5] Özden H., ‘Endüstriyel Tasarımda Yaratıcılık Ve Optimizasyon’ Dok. Ders Slaytları, EÜ, Fen Bilim Enst.
- [6] Özden, H., ‘Makine Tasarımında Optimizasyon Yöntemleri, Topoloji Optimizasyonu’ Doktora Ders Notları EÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2013.
- [7] Kibar A, VEZİROĞLU A.R. Mekân İçerisindeki Radyatörlerin Etrafındaki Engellere Göre Isıl Veriminin İncelenmesi. Tesisat Mühendisliği, 2013.
- [8] DAŞDEMİR A. Panel Tip Radyatörlerin Montajı ve Kullanımında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar. Tesisat Mühendisliği; 146: Mart/Nisan 2015.
- [9] Kalfarifer Tesisatı Proje Hazırlama Esasları Kitabı. TMMOB, Makina Mühendisleri Odası, 259-100.

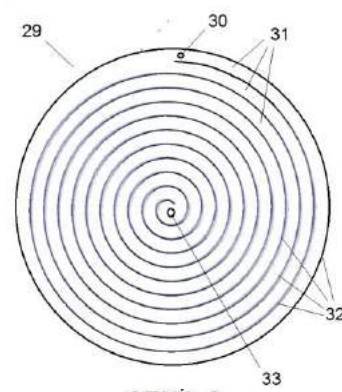
## EK,

### Lazer Kaynak Dikişli Radyatör Taslak Çizimleri

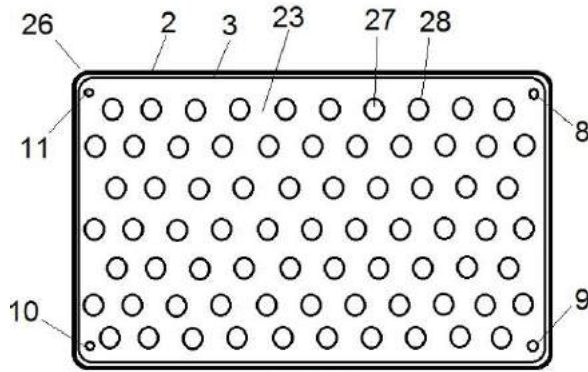




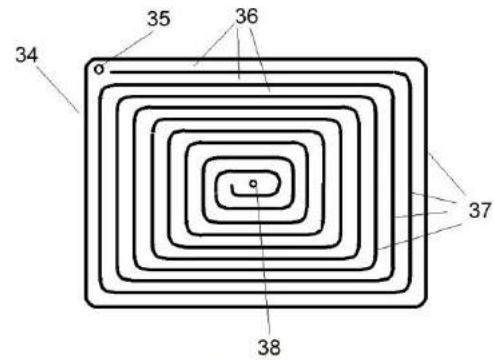
ŞEKİL 7



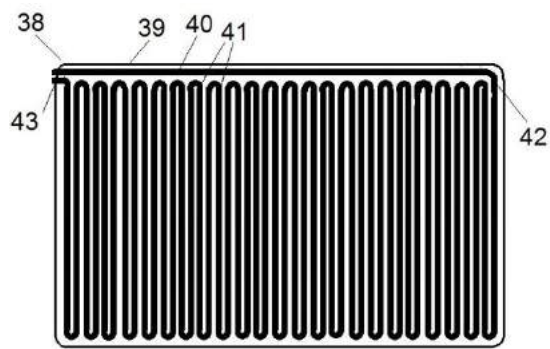
ŞEKİL 9



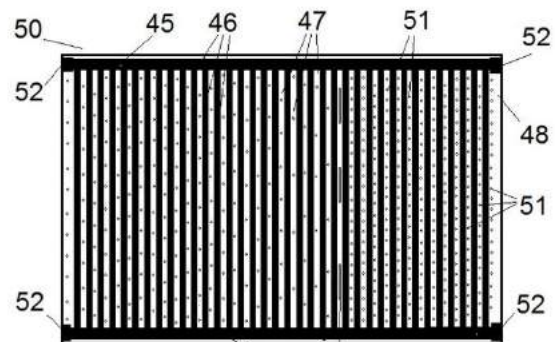
ŞEKİL 8



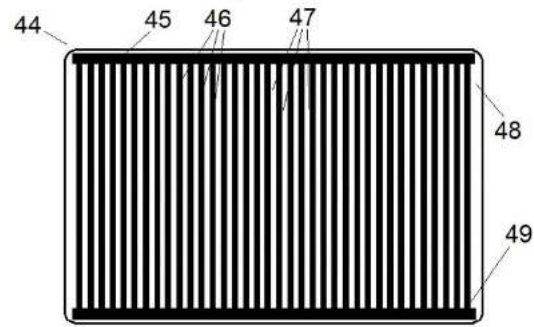
ŞEKİL 10



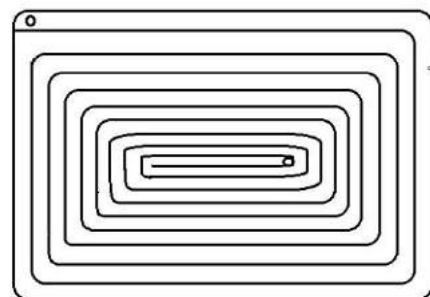
ŞEKİL 11



ŞEKİL 13



ŞEKİL 12



ŞEKİL 14

# ÇELİK KONSTRÜKSİYON BİRLEŞİM YERLERİNİN KAYNAKLI BAĞLANTI TASARIM OPTİMİZASYONLARININ ANALİZİ VE İNCELENMESİ

*Samet DÖNERKAYA<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Makine Yüksek Mühendisi, BVS Bülbüloğlu Vinç Ar-Ge Merkezi, Sincan, Ankara, Türkiye  
+90 507 628 00 30, sametdonerkaya@hotmail.com, s.donerkaya@bvs.com.tr,  
(ORCID: 0000-0001-7577-5124)

\*Sorumlu Yazar: sametdonerkaya@hotmail.com

## ÖZET

Günümüzde endüstride geleneksel kaynaklı imalat usulleri halen yoğun olarak kullanılmaktadır. Ancak özellikle son yıllarda artan kaynaklı imalat sarf malzeme, enerji ve işçilik maliyetleri kaynaklı birleştirme proseslerinde optimizasyon yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada genel olarak çelik yapı ve konstrüksiyonların kaynaklı bağlantılarında Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği (ÇYTHYE) ile EN 1993-1-8 standardına göre kaynak geometrisi ve ölçüleri, etkin dikiş kalınlığı, dikiş uzunlukları, uç kaynak ve kaynak kenar yaklaşım sınırları detaylı olarak analiz edilmiştir. Ülkemiz başta olmak üzere kaynaklı imalat proseslerinde yapılan incelemelerde en fazla kullanım alanı bulunan köşe kaynak metodu; optimum olarak standardın ülkemizde kullanımına yardımcı olmak amacıyla araştırılmıştır. Ayrıca yine bu çalışma kapsamında EN 1993-1-8 standardının çelik yapıların kaynaklı bağlantılarının araştırmaları için ön çalışma niteliği taşımaktadır. Öte yandan diğer kaynak metodları prensip olarak oldukça benzer olmalarının yanı sıra bütün kaynak yöntemlerinin incelenmesi mümkün olamadığı gibi sanayide en çok tercih edilen birleştirme yöntemlerinden biri olan köşe kaynağı tasarım detayları bu çalışma kapsamında irdelenmiş ve anlatılmıştır. Kaynaklı bağlantı hesap ve analiz yöntemleri gibi ileri seviye bilgilere erişilmesi için ise ilgili standartlara doğrudan bakılması tavsiye edilmektedir. Yapılan analizler neticesinde elde edilen sonuçlara bakıldığında çelik yapılarda EN 1993-1-8 standardı uygulanması halinde konstrüksiyon daha ekonomik; Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları (ÇYTHYE) yönetmeliği tercih edilmesi durumunda ise daha emniyetli ve güvenli bir yapı inşa edildiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kaynak Dikişi, Konstrüksiyon, Optimizasyon

# ANALYSIS AND REVIEW OF WELDED CONNECTION DESIGN OPTIMIZATIONS OF STEEL CONSTRUCTION JOINTS

*Samet DÖNERKAYA<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>M.Sc., Department of Research and Development, BVS Bülbüloğlu Crane Industry,  
06935 Sincan, Ankara, Türkiye  
+90 507 628 00 30, sametdonerkaya@hotmail.com, s.donerkaya@bvs.com.tr,  
(ORCID: 0000-0001-7577-5124)

\*Responsible Author: sametdonerkaya@hotmail.com

## ABSTRACT

Nowadays, traditional welded manufacturing methods are still widely used in the industry. However, the increasing costs of welded manufacturing consumables, energy and labor, especially in recent years, necessitate optimization in welded joining processes. In this study, welding geometry and dimensions, effective seam thickness, seam lengths, end weld and weld edge approach limits are generally used in welded connections of steel structures and constructions according to the Regulation on Design, Calculation and Construction Principles of Steel Structures and EN 1993-1-8 standard. analyzed in detail. The corner welding method, which is the most widely used in the examinations made in welded manufacturing processes, especially in our country; it has been researched in order to help the optimal use of the standard in our country. In addition, with in the scope of this study, it is a preliminary study for the research of welded connections of steel structures of the EN 1993-1-8 standard. On the other hand, although other welding methods are quite similar in principle, it is not possible to examine all welding methods, and the design details of fillet welding, which is one of the most preferred joining methods in the industry, are examined and explained with in the scope of this study. In order to access advanced information such as welded connection calculation and analysis methods, it is recommended to directly look at the relevant standards. Considering the results obtained as a result of the analysis, if the EN 1993-1-8 standard is applied in steel structures, the construction is more economical; It has been concluded that if the Design, Calculation and Construction Principles of Steel Structures regulation is preferred, a safer and more secure structure is built.

**Key Words:** Welding, Construction, Optimization

## 1. GİRİŞ

Yeni nesil bilimsel ve teknolojik ilerlemeler beraberinde Avrupa Topluluğu ülkelerde 2012 yılından itibaren çelik yapıların tasarım, montaj ve hesaplama yöntemlerini kapsamlı olarak analiz eden Eurocode 3 (EC3) standardının yapı ve konstrüksiyonlara entegrasyonu uygulamalarda zorunluluk haline getirilmiştir. Ülkemizde çelik yapı ve konstrüksiyon sektöründe yer alan kuruluşlar tarafında doğrudan uygulanabilmesi ve yaygınlaştırılabilmesi bakımından Türk Standartları Enstitüsü tarafından TS EN 1993-1 standardı ve alt kırımları (Örneğin; TS EN 1993-1-1: Çelik yapıların tasarımı-Genel kurallar ve binalara uygulanacak kurallar) formunda kalite yönetim sistemlerine entegre edilmiştir [1]. Çelik yapı konstrüksiyonlarında kaynaklı bağlantı tasarım esasları ve hesaplama yöntemlerini kapsayan EN 1993-1-8 (Eurocode 3: Çelik yapıların tasarımı - Bölüm 1-8: Genel kurallar - Birleşim yerlerinin tasarımı) standardı; EN 1993-1-1 standardına uygun olarak kaynaklanabilen 4 mm ve üzeri malzeme kalınlıklarındaki yapı çeliklerini kapsamaktadır [2]. Bunun yanı sıra daha ince et kalınlığındaki malzemelerin kaynak prosesleri için EN-1993-1-3 referans alınmalıdır [3]. Konstrüksiyonlarda kullanılan malzeme kalınlıklarına bağlı olarak geçerli olan standartlar Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Konstrüksiyondaki malzeme kalınlıklarına bağlı standartlar [4].

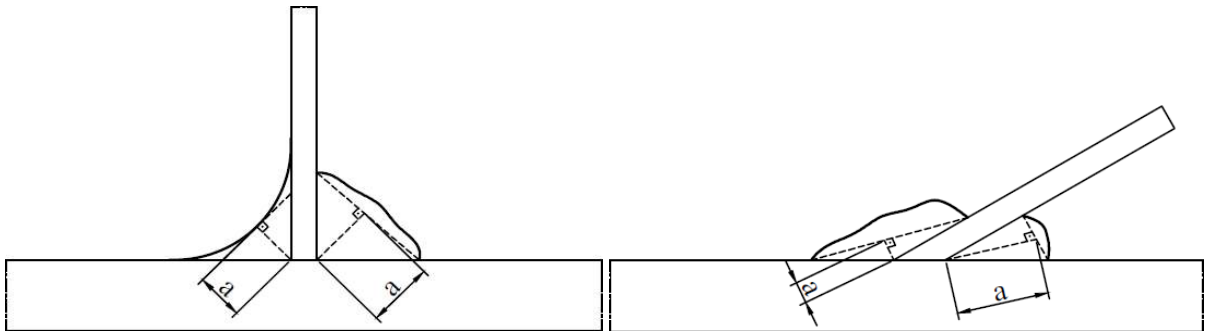
Malzeme Et Kalınlığı ( $t$ , $t_{\text{Kutu Profil}}$ )	Standart Numarası
$t < 4 \text{ mm}$	EN 1993-1-3
$t \geq 4 \text{ mm}$	EN 1993-1-8
$t_{\text{Kutu Profil}} \geq 2.5 \text{ mm}$	EN 1993-1-7

Yukarıda analiz edilen hususlar kaynak metalinin mekanik karakteristik özelliklerinin ana metal yapısı ile uyumlu olduğu bağlantılarda da kullanılabilir. Öte yandan EN 1993-1-8 Bölüm 4.2.’de belirtildiği üzere kaynaklı imalatta kullanılan sarf malzemeler hususunda kaynak dolgu metalinin; akma mukavemeti, çekme mukavemeti, kopma uzaması ve minimum kırılma enerjisi gibi mekanik özellikleri ana malzeme için en az eşdeğer veyahut belirtilen değerlerden daha iyi (yüksek) olması yapının güvenli ve emniyetli olması açısından oldukça önem taşımaktadır.

## 2. KÖŞE KAYNAĞI OPTİMİZASYON PARAMETRELERİ

### 2.1. Köşe Kaynağında Etkin Dikiş Kalınlıkları

Yapı konstrüksiyonunda köşe dikişine ait efektif dikiş kalınlığı “a” ile gösterilir ve teorik olarak kaynak kök noktasına kadar dikişin içerisine sığdırılan ikizkenar veyahut çeşitkenar üçgenin dik yüksekliği olarak kabul edilir (Şekil 1) [5].



**Şekil 1.** İçe kavisli dikiş, dışa kavisli dikiş ve 60°~120° sınırlandırılmış nüfuziyetli köşe kaynaklarında efektif dikiş boğaz kalınlığı (a) konfigürasyonları.

Sınırlandırmalar çerçevesinde köşe kaynağında minimum etkin dikiş kalınlığı (a), sistemdeki kuvvetin emniyetli ve güvenli olarak aktarılabilmesi için Tablo 2’de verilen minimum kaynak dikiş kalınlık değerlerinden az olmaması gerekmektedir. Şekil 2’de dışa kavisli köşe kaynağı (90°) dikişi kaynaklı imalat saha denetim ve kontrol ölçüm prosesi görülmektedir.

**Tablo 2.** Konstrüksiyonlarda köşe kaynakları minimum dikiş kalınlık (a) değerleri karşılaştırması [6, 7].

Kaynak ile Birleştirilecek İnce Yapı Elemanının Et Kalınlığı $t_{min}$ (mm)	ÇYTHYE Minimum Köşe Kaynak Dikiş Kalınlığı* $a$ (mm) [3]	AWS D1.1/D1.1M:2020 Minimum Köşe Kaynak Dikiş Kalınlığı $a$ (mm) [4]
$t_{min} \leq 6$	3.0 mm	3.0 mm
$6 < t_{min} \leq 13$	3.5 mm	5.0 mm
$13 < t_{min} \leq 19$	4,0 mm	6.0 mm
$19 < t_{min}$	5,5 mm	8.0 mm

\*Tek pasolu (geçişli) kaynak kuralı tercih edilmelidir.



**Şekil 2.** Dışa kavisli köşe kaynağı (90°) dikişi kaynaklı imalat saha ölçüm ve kontrolleri (a=4.5 mm).

EN 1993-1-8 standardında yer alan ve aynı zamanda Tablo 2’de de görüldüğü üzere optimal nüfuziyet için minimum kaynak dikiş kalınlığı (a) en az “3 mm” olması gerekmektedir. Öte yandan yine Tablo 2’de verildiği üzere Amerikan Kaynak Cemiyeti (American Welding Society: AWS) tarafından önerilen minimum kaynak dikiş kalınlıkları, ÇYTHYE yönetmeliğine nazaran daha emniyetli ve güvenli kaldığı görülmektedir.

DIN EN 1993-1-8:2010; Çelik Yapıların Tasarımı: Birleşim Yerlerinin Tasarımı, Almanya ulusal standart ekinde de belirtildiği üzere kaynaklanacak malzemelerin konstrüksiyonda yer alan maksimum et kalınlık “ $t_{max}$ ” değerine bağlı minimum kaynak dikiş kalınlığı “ $a_{min}$ ” aşağıda verilen formüller yardımıyla hesaplanmaktadır [5].

$$a_{min} \geq \sqrt{t_{max}} - (0.5) \text{ [mm]} \quad (1)$$

Kaynaklı imal usulleri ile birleştirilecek yapıdaki ince kenar kesitli iş parçasının minimum et kalınlığı “ $t_{min}$ ” olması suretiyle köşe kaynakların maksimum azami dikiş kalınlık “ $a_{max}$ ” değerleri aşağıda verilen formüller yardımıyla hesaplanabilir [6].

- Kaynaklanacak ince kesitli iş parçasının et kalınlığı 6 mm ve daha ince ( $t_{min} \leq 6$  mm) olması durumunda; kaynaklı imal usulleri kullanılarak birleştirilecek malzemenin kaynak operasyonu sırasında yanmaması için “maksimum kaynak dikiş kalınlığı” aşağıda verilen formül kullanılarak sınırlandırılması tavsiye edilmektedir.

$$[t_{min} \leq 6 \text{ mm}]; a_{max} \leq t_{min} \times (0.7) \text{ [mm]} \quad (2)$$

- Kaynaklı imal usulleri ile birleştirilecek ince kesitli elemanın parça et kalınlığı 6 mm’den daha kalın ( $t_{min} > 6$  mm) olması durumunda ise “maksimum kaynak dikiş kalınlığı” yine aşağıda verilen formül yardımıyla belirlenmektedir.

$$[t_{min} > 6 \text{ mm}]; a_{max} \leq (t_{min} - 2 \text{ mm}) \times (0.7) \text{ [mm]} \quad (3)$$



Konstrüksiyonda köşe kaynak dikişi; kural olarak yekpare biçimde kesintisiz kaynak ile birleştirilip, her iki uçtaki kaynak dikiş sonlarını tam olarak kapatacak şekilde uygulanması durumunda belirlenen etkin kaynak dikiş kalınlığı sabit tutulmalı ve mümkün mertebe azaltılmamalıdır.

## 2.2. Köşe Kaynağı Dikiş Açılımları

Bu çalışma kapsamında yapılan literatürde yer alan standartlarda belirtildiği üzere bir konstrüksiyondaki iç köşe kaynağında; birleştirilecek iş parçaları arasındaki ergime yüzeylerinin dikiş açısı  $60^{\circ}$ ~ $120^{\circ}$  aralığında sınırlandırılmıştır. Ancak istisnai olarak yapılan bazı çalışmalarda kaynak dikiş açısı  $60^{\circ}$ 'den daha küçük olması halinde yeterli seviyede kaynak kökü ve nüfuziyetinin oluşmadığı görülmüştür [5]. Öte yandan ÇYTHYE yönetmeliğinde de belirtildiği üzere dikiş açısının  $60^{\circ}$ 'den küçük olması durumunda bu kaynak metodu kısmi nüfuziyetli alın kaynak karakteristiğinde kabul edilerek değerlendirilir ve kaynak prosesleri bu özel duruma haiz olarak gerçekleştirilir. Ayrıca kaynak dikiş açısı  $120^{\circ}$ 'den büyük açılar olması durumunda ise etkin kaynak dikiş kalınlığı (a) kenarı gereğinden fazla küçüleceğinden bu kaynak pozunu ekonomiklik açısından tavsiye edilmez [6].

## 2.3. Aralıklı Köşe Kaynaklarının Optimal Dikiş Uzunlukları

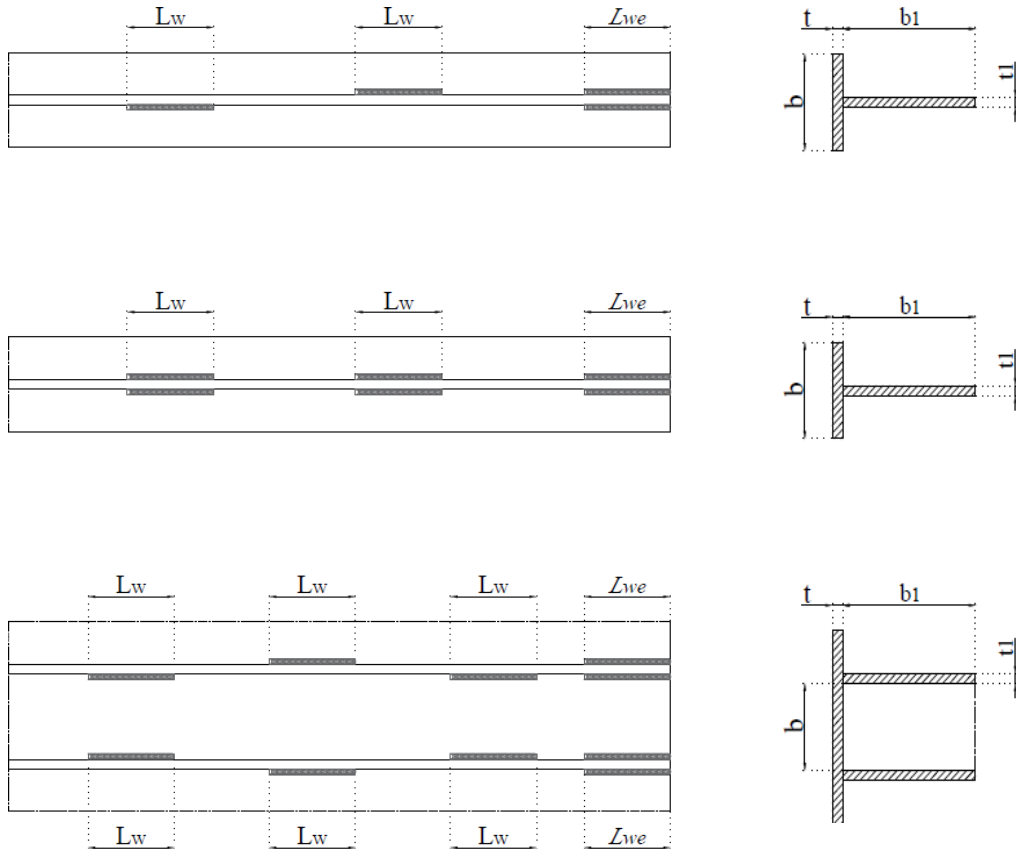
Köşe kaynak dikiş uzunlukları EN 1993-1-8 standardında da belirtildiği üzere etkili minimum kaynak dikiş uzunluğu 30 mm'den veyahut dikiş (boğaz) kalınlığının 6 katından güvenli ve emniyetli olarak ekonomiklik açısından bakıldığında daha az olmamalıdır. Köşe kaynak dikişi etkin uzunluğu; 30 mm'den veya kaynak dikiş boğaz kalınlığının 6 katından daha az olduğu takdirde sistemdeki kuvvetlerin aktarımında kaynak uzunlukları hesaplamalara dâhil edilmemelidir [5].

ÇYTHYE yönetmeliğinde köşe kaynaklarının minimum etkin kaynak dikiş uzunluğu 40 mm'den veya yine 6 katından daha az olmaması gerektiği açıkça ifade edilmiştir. Ayrıca bu koşul sağlanamadığı takdirde ise etkin kaynak dikiş kalınlığı (a), Şekil 3'te görüldüğü üzere etkin kaynak dikiş uzunluğunun  $L_w$ 'nin  $1/6$ 'sı oranında olması gerektiği tavsiye edilmektedir [6]. Bu bağlamda Tablo 3'te görüldüğü üzere EN 1993-1-8 standardı ile ÇYTHYE yönetmeliği karşılaştırıldığında, sonuç olarak çelik yapıların tasarım, hesap ve yapımına dair esaslar yönetmeliğinin daha emniyetli ve güvenlidir.

**Tablo 3.** Köşe kaynağında etkin dikiş uzunlukları " $L_w$ " ve " $L_{we}$ " karşılaştırma tablosu.

	<b>Çelik Yapıların Birleşim Yerlerinin Tasarımı Standardı (EN 1993-1-8)</b>	<b>Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği (ÇYTHYE)</b>
Köşe kaynağı minimum etkin uzunluğu " $L_w$ "	$L_w \geq 30 \text{ mm}$	$L_w \geq 40 \text{ mm}$
$L_w$ ile etkin dikiş (boğaz) kalınlığı "a" arasındaki bağıntı	$L_w \geq 6 \times a$	$L_w \geq 6 \times a$
Uç kaynak uzunluğu " $L_{we}$ " minimum ve maksimum değerleri	$L_{we} \geq (0,75) \times b$ [Minimum] $L_{we} \geq (0,75) \times b_1$ [Minimum]	$L_{we} \geq b$ ; $b_1$ [Maksimum]

Kesintili süreksiz köşe kaynak dikişleriyle birleştirilerek oluşturulan bir konstrüksiyonda, yapı elemanlarının bütün uçlarında yer alan kaynak dikişinin uzunluğu olan " $L_{we}$ "; dar ölçüdeki yapı elemanının genişliğinin (b veya  $b_1$ ) en az  $3/4$ 'ü yani yaklaşık olarak minimum %75'i kadar sürekli köşe dikişi devam ettirilerek başlangıç ve bitiş uç noktaları sonuna kadar kapatılması gereklidir. Öte yandan yine konstrüksiyonda kaynak ile doğrudan birleştirilecek yapı elemanlarının, yapının uçlarında veyahut kenarlarında tamamlanan köşe kaynakları mümkün olduğunca tam olarak sonlarına kadar ve minimum kaynak kenar uzunluğunun ( $L_w$ ) en az iki katı bir mesafe boyunca köşelerde ve uç kısımlarda süreklilik sağlamak suretiyle dolandırılarak kaynak prosesi tamamlanmalıdır [5].



Şekil 3. Aralıklı süreksiz kaynaklanan (metot) köşe kaynakları için dikiş uzunlukları parametreleri.



Şekil 4. Köprü vinç kirişi kaynaklı imalat projelerinde optimum metod kaynaklarının konumlarının belirlenmesi ve diyaframlarda metod köşe kaynağı uygulaması (BVS CRANES).

Şekil 4'te metod köşe kaynağı optimum kaynak dikiş uzunluklarının hesaplanarak, kaynaklı imalat prosesinde yapı konstrüksiyonu üzerinde uygulaması görülmektedir. Ayrıca kaynaklı imalat hesaplamalarında köşe

kaynaklarında kaynatılan toplam uzunluğu; konstrüksiyona uygulanan total kaynak uzunluğundan, kaynak prosesindeki başlangıç ve bitiş noktalarının her biri için optimum kaynak dikiş kalınlığı (a) kadar uzunlukta krater kayıpları çıkarılarak spesifik kaynaklı imalat hesaplamaları yapılmalıdır [6].

#### 2.4. Aralıklı Süreksiz (Metot) Köşe Kaynakları

Yassı ve yapısal malzemeler kullanılarak inşa edilecek yapma elemanlardan oluşan konstrüksiyonun rijitliğini sabit tutarak; en kesit parça entegrasyon birleşim proseslerinde ekonomiklik açısından bakıldığında kesintili olarak aralıklarla süreksiz (metot kaynağı) köşe kaynakları kullanılabilir. Bu bağlamda EN 1993-1-8 standardına göre aralıklı (metot) köşe kaynakları ve dizilimleri Şekil 5'te verilmiştir. Diğer yandan Tablo 4'te ise kesintili süreksiz kaynak köşe dikişlerinin EN 1993-1-8: Çelik Yapıların Birleşim Yerlerinin Tasarımı Standardı ile Çelik Yapıların Tasarım, Hesap Ve Yapım Esasları Yönetmeliği (ÇYTHYE) formülasyonları karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan irdelemeler neticesinde yapılarda; EN 1993-1-8 standardı kullanılması durumunda operasyonel kaynak prosesleri daha ekonomik, fakat diğer taraftan Çelik Yapıların Tasarım, Hesap Ve Yapım Esasları Yönetmeliği (ÇYTHYE) tercih edilmesi durumunda ise daha emniyetli bir konstrüksiyon oluşturulmaktadır.

**Tablo 4.** Aralıklı köşe kaynak (metot kaynak) boşlukları ( $L_1$ ,  $L_2$ ) karşılaştırma tablosu.

	Çelik Yapıların Birleşim Yerlerinin Tasarımı Standardı (EN 1993-1-8)	Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği (ÇYTHYE)
Çekme kuvveti etkisindeki yapma enkesitler için optimum kaynak boşluğu " $L_1$ "	$L_1 \leq 16 \times t$ [Minimum] $L_1 \leq 16 \times t_1$ [Minimum] $L_1 = 200$ mm	$L_1 \leq 14 \times t$ [Minimum] $L_1 \leq 14 \times t_1$ [Minimum] $L_1 = 200$ mm
Basma veya kesme kuvveti etkisindeki yapma enkesitler için kaynak boşluğu " $L_2$ "	$L_2 \leq 12 \times t$ [Minimum] $L_2 \leq 12 \times t_1$ [Minimum] $L_2 \leq b/4$ $L_2 = 200$ mm	$L_2 \leq 12 \times t$ [Minimum] $L_2 \leq 12 \times t_1$ [Minimum] $L_2 \leq (0,25) \times b$ $L_2 = 200$ mm



**Şekil 5.** Aralıklı (kesintili) köşe kaynak boşlukları ( $L_1$ ,  $L_2$ ); dizilimleri ve eksantrik yerleşimleri [5].



**Şekil 6.** Vinç köprü kirişi kaynaklı imalat prosesinde; taşıyıcı kiriş yan plakalarında metot köşe kaynağı (90°) uygulaması (BVS CRANES).

Şekil 6'da köprü kirişi yan plakalarında flambaj etkisini minimuma indirmek amacıyla kaynaklı imalat prosesi ile yapıya sabitlenen köşebentlerin (NPL) yan taşıyıcı plakalar özelinde köşe kaynak boşluklarının optimum dizilimleri verilmiştir. Öte yandan aralıklı kesintili (metot) şekilde uygulanan köşe kaynak dikişleri; konstrüksiyonlarda olası korozyon oluşum riski bulunan tüm durum veya ortamlarda yapı elemanları için birleştirme yöntemi olarak öncelikli tercih edilmemelidir.

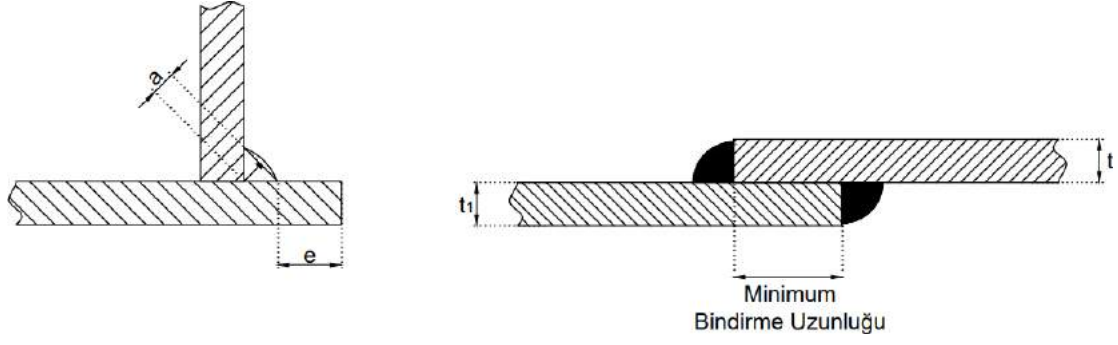
## **2.5. Kaynaklı Birleştirme ve Bağlantılarda Optimum Tasarım Kriterleri**

Özellikle geçtiğimiz son yıllarda döviz kurlarındaki dalgalanmalar ve enflasyon kaynaklı olarak yıl içerisinde belirsiz periyotlarda maliyet artışlarının yanı sıra ilk madde ve hammaddelede yaşanan tedarik sıkıntılarının yaşanması müşteri kuruluş termin sürelerini olumsuz etkilemektedir. Buna bağlı olarak ilk madde ve hammadde, kaynak sarf malzemeleri ve enerji gibi kaynaklı imalat ile üretimde doğrudan kullanılan parça ve yarı mamul ürünlerde; standartlar, yönetmelikler ve üretici firma kısıtlamaları çerçevesinde optimizasyon (en iyileme) yapılması gereklilik haline gelmiştir. Geniş açıklıklı çelik konstrüksiyon ve yapılarda; yapının oluşturulması için gerekli olan metrajlar bazı spesifik özel proje çözümlerinde oldukça fazla olabilmektedir. Bu nedenle özellikle yapay kiriş birleşimlerinde kenar yaklaşım mesafelerinin optimum düzeyde hesaplanarak kaynaklı birleşim yapılması maliyet unsurları bakımından oldukça önem taşımaktadır.

Şekil 7'de sol taraftaki görselde görüldüğü üzere kaynak dikişinden hemen sonra kenar mesafesine yaklaşım “e” olarak değişken tanımlanmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan literatür araştırmaları neticesinde yurt dışı menşeli bazı firmalarda minimum kaynak kenar yaklaşım mesafesi “ $e \geq 2 \times a$ ” tasarım kriteri olarak alındığı ve reel kaynaklı imalat çalışmalarında (Şekil 8) pratikte sorunsuz kullanıldığı tespit edilmiştir. Ancak uluslararası ve ulusal platformlarda yer alan standartlar ve yönetmeliklerde bu tasarım değişkeni özelinde herhangi bir bulguya doğrudan rastlanılmamıştır.

Birçok kaynaklı imalat yöntemi uygulanan endüstriyel uygulamalarda sıklıkla karşılaşılan bindirme tip kaynaklı birleştirme yöntemlerinde; bindirme kaynağı yapılan parçalar farklı et kalınlıklarında ise kalınlık değeri için en ince olan parçanın et kalınlığı değişken ( $t; t_1$ ) olarak referans alınmaktadır.

Bindirmeli birleşimlerde parça bindirme uzunluğu; birleştirilen elemanların “ince kalınlıkta olanının en az 5 katından (Bindirme Uzunluğu  $\geq 5 \times t$ )” ve 25 mm'den küçük olarak tespit edilmemelidir. Diğer taraftan imalat sırasında parçanın her iki yüzüne erişilebildiği takdirde konstrüksiyonun iki tarafında kaynak metodu uygulanmalıdır [6].

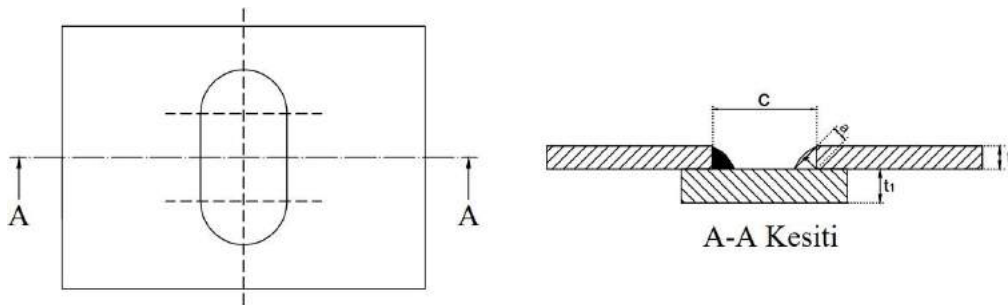


Şekil 7. Köşe kaynağı minimum kenar yaklaşım mesafesi (e) ve bindirmeli tip kaynaklı bağlantılarda minimum bindirme uzunluğu mesafesi.



Şekil 8. Bindirme tip kaynaklı birleştirme yöntemleri optimum kenar yaklaşım kaynaklı imalat uygulaması.

Bindirme tip kaynaklı imalat parçalarında bazı özel spesifik durumlarda kesme kuvvetini aktarmak, bindirme bölgesinde oluşması olası muhtemel burkulma ve ayrılmaların etkisini ekarte ederek önlemek amacıyla; yapma elemanlardan enkesit parçaların birleşimlerinde lokal veya yekpare olarak boşaltma tip delik kaynaklı imalat yöntemi yaygın olarak tercih edilmektedir. Şekil 9'da görüldüğü üzere uzun deliklerdeki köşe kaynağı için uzun delik genişliği  $c$  olarak tanımlanmakta olup, bu çalışma kapsamında yapılan literatür araştırmaları neticesinde " $c \geq 3 \times t$ " optimal delik genişliği sınır şartı olarak hesaplanmaktadır. Ulusal ve uluslararası literatürde yer alan standartlar ve yönetmeliklerde bu tasarım değişkeni hususunda doğrudan bir yaklaşıma rastlanılmamıştır.



Şekil 9. Bindirme tip kaynaklı birleştirme yöntemlerinde yuva kaynakları ve delik genişliği sınır şartları.

### 3. SONUÇLAR

Çağımızda kaynaklı imalat yapılan üretim tesisleri için sürekli olarak artan kaynak sarf malzeme fiyatları, enerji ve işçilik giderleri gibi maliyet unsurları kaynak proseslerinde optimizasyon yapılmasının gün geçtikçe önemini arttırmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapı ve konstrüksiyonların aralıklı kaynaklı bağlantılarında EN 1993-1-8 ile ÇYTHYE'na göre köşe kaynak; etkin kaynak dikiş kalınlığı ( $a$ ), efektif kaynak dikiş uzunlukları ( $L_w$ ), uç kaynakları ( $L_{we}$ ) ve optimum kaynak boşlukları ( $L_1, L_2$ ) başta olmak üzere kaynak parametreleri ve kaynaklı imalat tasarım değişkenleri detaylı olarak araştırılmış, incelenmiş ve analiz edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında kaynaklı birleştirme yöntemlerinde en yaygın tercih edilen köşe kaynağının detaylarıyla anlatılmasının yanı sıra diğer taraftan kapsam genişliği nedeniyle tüm kaynak türlerinin incelenmesi mümkün olamamıştır. Ayrıca yine aralıklı (kesintili) köşe kaynaklı bağlantılar başta olmak üzere standartların ve ilgili yönetmeliklerin kullanımı bu çalışma yardımıyla daha efektif ve anlaşılabilir düzeye indirgenmiştir. Kaynaklı bağlantı ve birleştirmelerde hesap ve analiz yöntemleri gibi ileri seviye bilgilere erişilmesi için ilgili diğer standartlara doğrudan bakılması tavsiye edilmektedir.

Türkiye'de kaynaklı imalat operasyonel süreçleri için yapılan araştırmalara bakıldığında birçok kullanım alanı bulunan aralıklı süreksiz köşe kaynağı (metot kaynağı) başta olmak üzere mevcut ulusal ve uluslararası standartların, yönetmeliklerin ülkemizde kolaylıkla kullanımına yardımcı olmak amacıyla bu çalışma kapsamında araştırılmıştır. Ayrıca yine bu çalışmada çelik yapı ve konstrüksiyonların köşe kaynaklı birleşim bağlantılarının optimizasyon çalışmalarını içermesinin yanı sıra diğer araştırmalar için ön çalışma niteliği taşımaktadır.

Sonuç olarak yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen bulgulara bakıldığında çelik yapılarda EN 1993-1-8 standardının doğrudan uygulanması halinde optimize edilen operasyonel kaynak süreçleri daha ekonomik, öte yandan ülkemizde yaygın olarak efektif bir şekilde hesaplamalarda kullanılan çelik yapıların tasarım, hesap ve yapım esasları (ÇYTHYE) yönetmeliği tercih edilmesi durumunda ise daha emniyetli ve güvenli bir konstrüksiyon inşa edileceği kanısına varılmıştır.

### 4. KAYNAKÇA

- [1] TS EN 1993-1-1: Çelik yapıların tasarımı - Bölüm 1-1: Genel kurallar ve binalara uygulanacak kurallar (Eurocode 3).
- [2] TS EN 1993-1-8: Eurocode 3: Çelik yapıların tasarımı - Bölüm 1-8: Genel kurallar - Birleşim yerlerinin tasarımı.
- [3] TS EN 1993-1-3: Eurocode 3: Çelik yapıların projelendirilmesi - Bölüm 1-3: Genel kurallar - Soğukta biçimlendirilmiş ince ölçülü elemanlar ve saçla kaplama için.
- [4] Şık, A., Atak, A., 2015, "Çelik Yapı Kaynaklı Bağlantılarının EC3'e Göre Tasarım Ve Analiz Yöntemi", Kaynak Teknolojisi IX. Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 277-290, Ankara, Türkiye.
- [5] DIN EN 1993-1-8 Aralık 2010: Çelik Yapıların Tasarımı; Birleşim Yerlerinin Bağlantıların Tasarımı, Almanya.
- [6] Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar Yönetmeliği (ÇYTHYE).
- [7] AWS D1.1/D1.1M:2020 Structural Welding Code (Steel).



### **Samet Dönerkaya Kısa Özgeçmişi:**

1993 yılında doğan Samet Dönerkaya, lisans eğitimini 2016 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi mezuniyet onur öğrencisi olarak tamamlayarak, Makine Mühendisi unvanını aldı. Askerlik görevini 2019 yılında Cumhurbaşkanlığı Muhafız Alayı'nda eğitim ve oryantasyon subayı olarak yerine getirerek, üstün hizmetlerinden ötürü Cumhurbaşkanlığı Muhafızlı nişanesi ile Teğmen rütbesiyle terhis oldu. 2022 yılında Necmettin Erbakan Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü İmalat ve Konstrüksiyon A.B.D. yüksek lisans çalışmalarını tamamlayarak, şeref derecesiyle Yüksek Mühendis unvanını aldı.

Otomotiv sanayi başta olmak üzere yaklaşık 8 yıl çeşitli grup şirketlerinde mesleki yönetsel yetkinlik kazandıktan sonra; başta Türk Silahlı Kuvvetleri Güçlendirme Vakfına bağlı TUSAŞ, TEI, ROKETSAN, HAVELSAN, ASELSAN yanı sıra FNSS gibi savunma sanayi, havacılık ve uzay endüstrilerinde ulusal ve uluslararası destekli programlarda üniversite-sanayi iş birliği proje geliştirme kapsamında Atılım Üniversitesi ARGEDA-TTO Teknoloji Transfer Ofisi'nde yönetici olarak görev yaptı. Şu an BVS CRANE Bülbüloğlu Vinç Sanayi A.Ş.'de Ar-Ge Merkezi Yöneticisi olarak görev yapmaktadır. Yüksek Mühendis Samet DÖNERKAYA evli olup, Meva isminde bir kız çocuğuna sahiptir.

Samet Dönerkaya (M.Sc.)

BVS R&D Center Supervisor

*İletişim:* 0 507 628 00 30

*e-posta:* s.donerkaya@bvs.com.tr / sametdonerkaya@hotmail.com

# Lazer Kaynağı ile Metal Malzemelerin Birleştirilmesi Üzerine Nümerik Bir İnceleme

Mehmet Kıvanç TURAN

[mkivancturan@uludag.edu.tr](mailto:mkivancturan@uludag.edu.tr)

Bursa Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Celalettin YÜCE

[cyuce@uludag.edu.tr](mailto:cyuce@uludag.edu.tr)

Bursa Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Prof.Dr. Fatih KARPAT

[karpata@uludag.edu.tr](mailto:karpata@uludag.edu.tr)

Bursa Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Metal malzemelerin birleştirilmesinde her ne kadar mekanik birleştirme yaygın olarak kullanılsa da kaynak yöntemlerinin kullanım oranının arttığı da önemli bir gerçektir. Lazer kaynağı günümüzde en çok dikkat çeken kaynak yöntemleri arasında yer almaktadır. Özellikle yüksek üretim hızı, düşük ısı girdisi ve ısı tesiri altındaki bölgenin dar olması gibi önemli avantajları sayesinde ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada iki paslanmaz çelik sacın lazer kaynak yöntemiyle birleştirilmesi ele alınmıştır. Çalışma nümerik olarak gerçekleştirilmiş olup Simufact Welding yazılımı kullanılmıştır. Kaynak parametresi olarak üç farklı kaynak hızı ve üç farklı lazer gücü kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ısı girdisinin kaynak dikiş geometrisi üzerinde kayda değer bir etkisi olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Paslanmaz çelik, lazer kaynak, kaynak hızı, lazer gücü

## ABSTRACT

Although mechanical fastening is widely used in joining metal materials, it is important that the rate of welding methods has increased. Laser welding is one of the most remarkable welding methods today. It comes to the forefront thanks to its essential advantages, such as high production speed, low heat input, and narrow heat-affected zone. In this study, the joining of two stainless steel sheets by laser welding method was discussed. The study was carried out numerically, and Simufact Welding software was used. Three different welding speeds and three different laser powers were used as welding parameters. As a result of the study, it was observed that the heat input had a significant effect on the weld bead geometry.

**Keywords:** Sakinleşse steel, laser eldin, welding speed, laser power

## 1. GİRİŞ

Metaller günümüzün en önemli üretim malzemeleridirler(Liu vd., 2021). Birçok sektörün ana üretim malzemesini oluşturan bu grubun birleştirmesinde mekanik birleştirmenin yanı sıra kaynakla birleştirme de önemli bir yer tutmaktadır. Kaynakla birleştirmenin birçok türü bulunmaktadır:

- Demirci kaynağı
- Gazaltı kaynağı
- Elektrik ark kaynağı
- Elektron ışın kaynağı
- Lazer kaynağı

Lazer kaynağı günümüzde kullanımını artan bir kaynak türüdür. Lazer kaynağının sahip olduğu başlıca avantajlar şunlardır(Gu vd., 2011; Yuce vd., 2016, 2017, 2019; Zhan vd., 2017):

- Yüksek üretim hızı
- Düşük maliyet
- Otomasyona uygunluk
- Dar ısı tesiri altındaki bölge
- Yüksek hassasiyet
- Yüksek verim
- Düşük ısı girdisi

Sahip olduğu bu avantajlar neticesinde lazer kaynağı birçok farklı çalışmada kullanılmıştır. Hao ve arkadaşları yaptıkları çalışmada lazer kaynağı ile lazer-ark hibrit kaynağını salınımlı ve salınımsız olarak kıyaslamışlardır(Hao vd., 2023). Shen ve arkadaşları yaptıkları çalışmada iki farklı titanyum malzemenin kaynağında tekli ve ikili lazer ışını kullanımını ele almışlardır. Çalışma neticesinde ikili ışın kullanımı ile çekme dayanımının ve uzamanın arttığı gözlenmiştir(Shen vd., 2017). Chowdhury ve arkadaşları yaptıkları çalışmada elektron ışın kaynağı ile lazer kaynağını mukayese etmişlerdir(Chowdhury vd., 2021). Çalışmada malzeme olarak Ti6AL4V titanyum alaşımı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elektron ışın kaynağı ile çok daha yüksek penetrasyon ve kaynak genişliği elde edildiği gözlenmiştir. Wang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada lazer kaynağında salınım modlarının etkilerini incelemişlerdir(Wang vd., 2019). Bu bağlamda doğrusal, daire ve sonsuz salınım modları ile bir tane de referans olması maksadıyla salınımsız lazer kaynağı kullanılmıştır. Çalışma sonucunda salınımlı kaynakların ile salınımsız kaynaklara göre daha yüksek çekme mukavemeti ve uzama elde edildiği görülmüştür. Ayrıca porozitenin salınımlar ile azaldığı gözlenmiştir. Nümerik simülasyon birçok alanda olduğu gibi lazer kaynağı için de oldukça kıymetlidir. Özellikle deneysel bir çalışmaya göre sağlamış olduğu zaman ve maliyet tasarrufu nümerik çalışmaları oldukça cezbedici kılmaktadır. Piekarska ve arkadaşları T

kaynağında nümerik çalışmayı ele almışlardır(Piekarska vd., 2013). Zhang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada çiftli lazer kaynağını incelemişlerdir(Zhang vd., 2019). Belhadj ve arkadaşları yaptıkları çalışmada magnezyum malzemenin kaynağını nümerik ve deneysel olarak ele almışlardır(Belhadj vd.,2010).

Bu çalışmada paslanmaz çeliğin lazer kaynağında ısı girdisinin etkisi incelenmiştir. Çalışma nümerik olarak gerçekleştirilmiş olup simülasyon yazılımı olarak Simufact Welding programı kullanılmıştır.

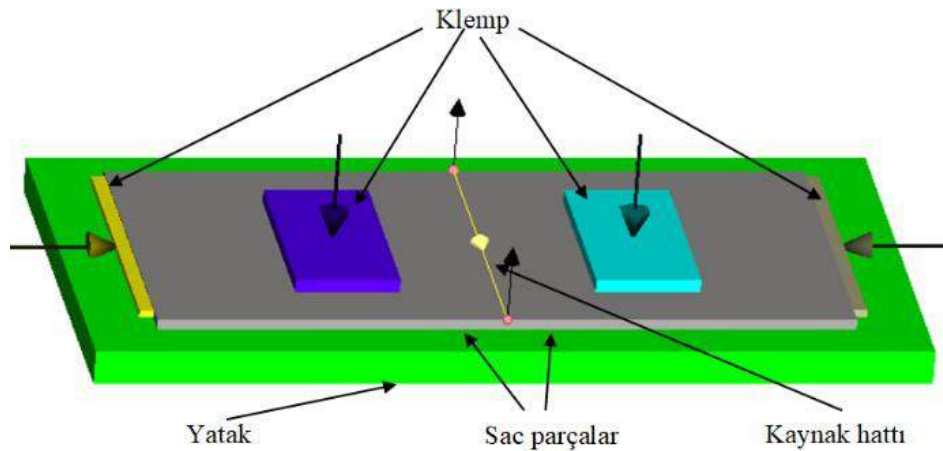
## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada üç farklı kaynak hızı ve üç farklı lazer gücü kullanılmıştır.

Tablo 1. Kaynak parametreleri

Kaynak hızı	Lazer gücü
50 mm/s	0.5 kW
100 mm/s	1 kW
150 mm/s	1.5 kW

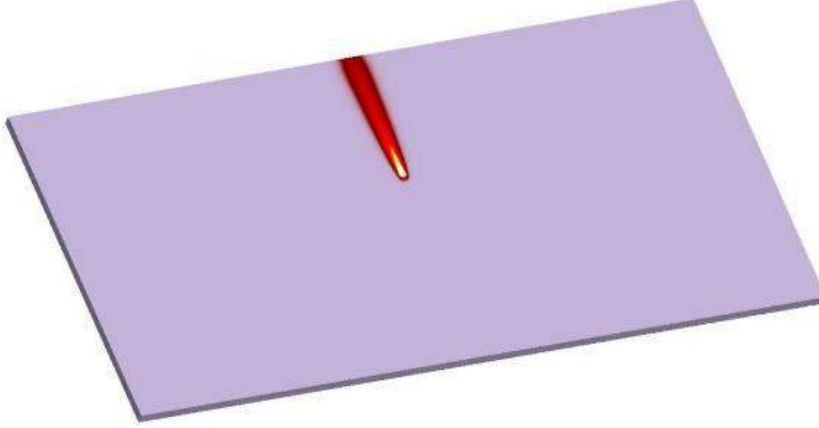
Kaynak modeline ilk olarak malzeme atamasıyla başlanmıştır. Bu çalışmada malzeme olarak 304 paslanmaz çeliği kullanılmıştır. Sonrasında sac parçalarına gerekli desteği sağlayacak olan yatak oluşturulmuştur. Sac parçalarının hareketini kısıtlayabilmek için Şekil 1’de gösterilmiş olan dört adet klemp oluşturulmuştur. Model için gerekli olan geometrilerin oluşturulmasının ardından kaynak için gerekli olan kaynak hattı ve lazer kaynak parametrelerinin tanımlaması yapılmıştır. Tablo 1’de verilmiş olan parametreler ile Taguchi L9 serisine göre gerekli ısıl girdi seti oluşturulmuştur.



Şekil 1. Kaynak modeli

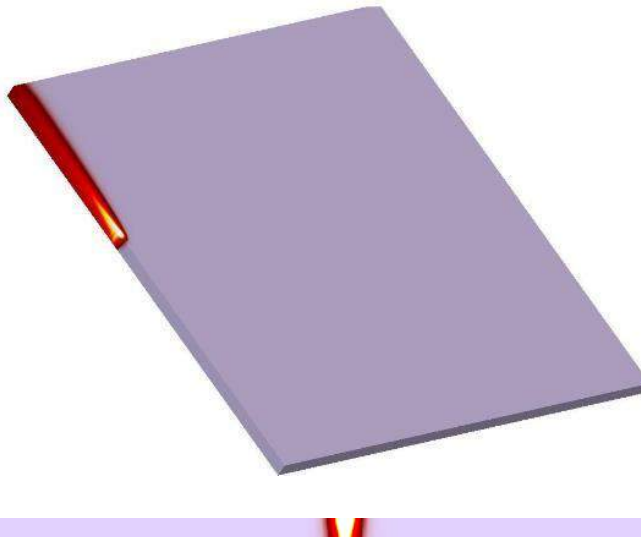
### 3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Simülasyon çalışması sonucunda elde edilen sonuçlar Tablo 2’de parametrelere bağlı olarak verilmiştir. Şekil 2’de 1.5 kW lazer gücü, 150 mm/s kaynak hızı için kaynak işleminin görseli sunulmuştur.



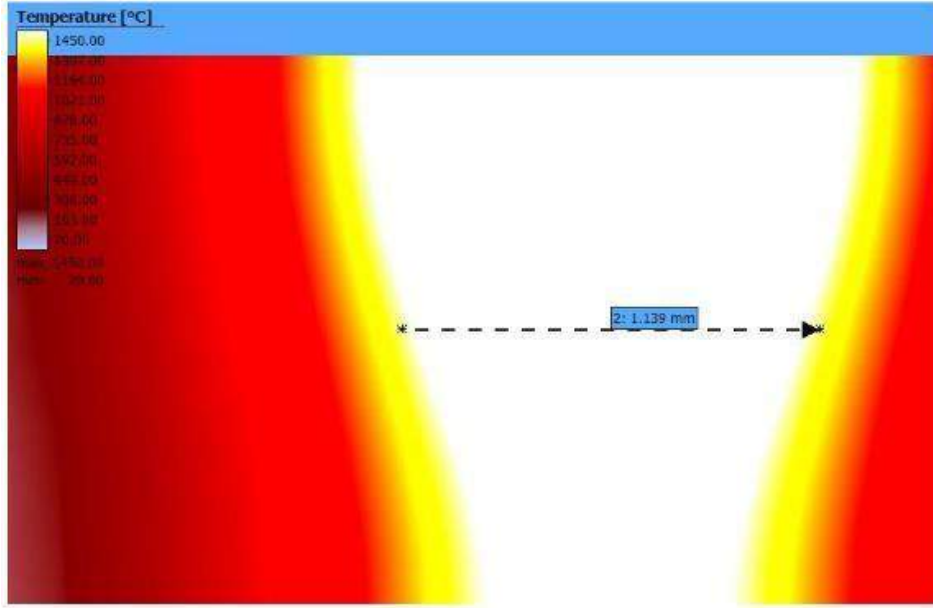
Şekil 2. Kaynak sekansı

İlgili kaynak skalasının kesiti Şekil 3’de sunulmuştur. Şekil 3’de kaynak parçalarının yüzeyindeki sıcaklık değişimine ek olarak parçanın içerisindeki sıcaklık değişimleri de görülmektedir. Buna göre yüzeyden derinliğine inildikçe sıcaklık azalmaktadır. Kaynak hattındaki ısıl değişim renk skalası üzerinden okunabilir. Buna göre kaynak robotunun bulunduğu konumda anlık ısı girdisi en yüksek olduğu için beyaz olarak görünmektedir (Şekil 4). Sarıdan kırmızıya doğru sıcaklık azalmaktadır. Ölçümler bu bölge üzerinden yapılmaktadır.



Şekil 3. Isı değişimleri

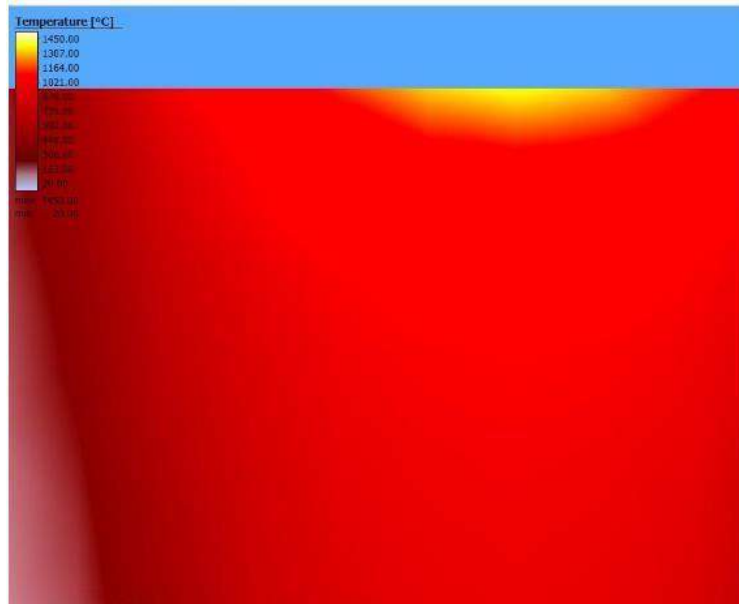
Şekil 4’de 1.5 kW lazer gücü ve 50 mm/s hız için elde edilen kaynak dikişi boyutları sunulmuştur.



Şekil 4. 1.5 kW lazer gücü ve 50 mm/s hız simülasyon sonucu

1.5 kW lazer gücü ve 50 mm/s hız parametreleri ile kaynak parçalarına en yüksek ısı girdisi sağlanmıştır. Buna bağlı olarak tam penetrasyonun yanı sıra 1.139 mm ile en yüksek kaynak dikiş genişliği elde edilmiştir.

Şekil 5’de 0.5 kW lazer gücü ve 100 mm/s hız için elde edilen simülasyon sonucu sunulmuştur.



Şekil 5. 0.5 kW lazer gücü ve 100 mm/s kaynak hızında kaynak dikişi



Şekil 5’den görüleceği üzere 0.5 kW lazer gücü ve 100 mm/s kaynak hız parametreleri ile kaynak parçalarında herhangi bir ergime elde edilememiştir. Benzer şekilde daha düşük ısı girdisi sağlayan 0.5 kW lazer gücü ve 150 mm/s hız parametreleri için de herhangi bir ergime olayı gerçekleşmemiştir.

Tablo 2. Simülasyon sonuçları

Vaka	Kaynak hızı(mm/s)	Lazer gücü(kW)	Dikiş genişliği(mm)	Dikiş derinliği(mm)
1	50	0.5	0.4179	0.1684
2	100	0.5	0	0
3	150	0.5	0	0
4	50	1	0.7273	1.5
5	100	1	0.5291	0.3673
6	150	1	0.3731	0.1108
7	50	1.5	1.139	1.5
8	100	1.5	0.5403	1.5
9	150	1.5	0.5967	0.4249

Tablo 2 genel olarak ele alındığında 0.5 kW lazer gücünün kaynak penetrasyonu için yetersiz kaldığı görülmektedir. En düşük hız olan 50 mm/s ile bile yeterli penetrasyon elde edilememiştir. 1 kW lazer gücü ile sadece 50 mm/s hız için tam penetrasyon elde edilmiş olup diğer hız değerleri için tam penetrasyon gerçekleşmemiştir. 1.5 kW lazer gücünde ise 150 mm/s hız dışındaki hızlarda tam penetrasyon elde edilmiş olup kaynak dikiş genişliği olarak en büyük değer ısı girdisinin en yüksek olduğu 50 mm/s hız ile elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre ideal kaynak hızı 50 mm/s iken ideal lazer gücü 1.5 kW’dir.

#### 4. SONUÇ

Metaller sahip oldukları mekanik özellikler sayesinde günümüzde halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Çoğu zaman metal malzemelerden yapılan ürünler yekpare üretilmez yani ürün alt bileşenlere ayrılır ve o bileşenlerin birleştirilmesi ile nihai ürün haline gelir. Bu noktada kaynak ile birleştirme günümüzde önemi artan bir yöntemdir. Özellikle lazer kaynağı sahip olduğu avantajlar sayesinde her gün kullanım oranını ve kullanım yerlerini artırmaktadır. Bu çalışmada paslanmaz malzemeden üretilmiş iki sacın lazer kaynak ile birleştirilmesi ele alınmıştır. Çalışma nümerik olarak gerçekleştirilmiş olup termal analiz yapılmıştır. Çalışma sonucunda lazer gücünün düşük olması ya da kaynak hızının çok yüksek olmasının kaynak dikişi boyutlarını azalttığı, yetersiz penetrasyon gerçekleştiği gözlenmiştir. Kaynak hızını düşürmek veya lazer gücünün artırmak penetrasyonu iyileştirse de çökme, sıçrama gibi farklı problemlere sebep olabilir. Böylece istenilen dikiş genişliği ve dikiş derinliğini elde edilmesinde doğru parametre kombinasyonunun

seçilmesinin önemli olduğu görülmüştür. Ayrıca simülasyon çalışmalarının deneysel çalışmalara geçmeden önce kayda değer fikirler sağlayabileceğine kanaat getirilmiştir.

## Kaynakça

- [1]Belhadj, A., Bessrou, J., Masse, J. E., Bouhaf, M., & Barrallier, L. (2010). Finite element simulation of magnesium alloys laser beam welding. *Journal of Materials Processing Technology*, 210(9), 1131–1137. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2010.02.023>
- [2]Chowdhury, S., Yadaiah, N., Murlidhar, M., Kumar, D. A., Paul, C. P., Patra, S. K., Singh, S., Królczyk, G., & Prakash, C. (2021). Comparison of microstructure and mechanical performance of laser and electron beam welded Ti6Al4V alloy. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 43, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s40430-021-02903-y>
- [3]Gu, H., Yin, G., & Shulkin, B. (2011). Laser beam welding of nitride steel components. *Physics Procedia*, 12, 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2011.03.006>
- [4]Hao, K., Gao, Z., Huang, J., Xu, L., Liu, Y., Han, Y., Zhao, L., & Ren, W. (2023). Comparisons of laser and laser-arc hybrid welded carbon steel with beam oscillation. *Optics and Laser Technology*, 157, 108787. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2022.108787>
- [5]Liu, J., Liu, Y., Li, L., & Liu, J. (2021). Numerical investigation of the effect of material properties on forming metal bellows. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 116, 2425–2436. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07551-z>
- [6]Piekarska, W., Kubiak, M., & Saternus, Z. (2013). Numerical simulation of deformations in t-joint welded by the laser beam. *Archives of Metallurgy and Materials*, 58(4), 1391–1396. <https://doi.org/10.2478/amm-2013-0181>
- [7]Shen, J., Li, B., Hu, S., Zhang, H., & Bu, X. (2017). Comparison of single-beam and dual-beam laser welding of Ti–22Al–25Nb/TA15 dissimilar titanium alloys. *Optics and Laser Technology*, 93, 118–126. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2017.02.013>
- [8]Wang, Z., Oliveira, J. P., Zeng, Z., Bu, X., Peng, B., & Shao, X. (2019). Laser beam oscillating welding of 5A06 aluminum alloys: Microstructure, porosity and mechanical properties. *Optics and Laser Technology*, 111, 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2018.09.036>
- [9]Yuce, C., Karpat, F., & Yavuz, N. (2019). Investigations on the microstructure and mechanical properties of laser welded dissimilar galvanized steel–aluminum joints. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 104, 2693–2704. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04154-7>
- [10]Yuce, C., Tutar, M., Karpat, F., & Yavuz, N. (2016). The optimization of process parameters and microstructural characterization of fiber laser welded dissimilar HSLA and MART steel joints. *Metals*, 6(10), 245. <https://doi.org/10.3390/met6100245>

- [11] Yuce, C., Tutar, M., Karpat, F., Yavuz, N., & Tekin, G. (2017). The effect of process parameters on the microstructure and mechanical performance of fiber laser-welded AA5182 aluminium alloys. *Strojnicki Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, 63(9), 510–518. <https://doi.org/10.5545/sv.jme.2017.4442>
- [12] Zhan, X., Peng, Q., Wei, Y., & Ou, W. (2017). Experimental and simulation study on the microstructure of TA15 titanium alloy laser beam welded joints. *Optics and Laser Technology*, 94, 279–289. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2017.03.014>
- [13] Zhang, X., Li, L., Chen, Y., Zhu, X., & Ji, S. (2019). Numerical simulation analysis of dual-beam laser welding of tailored blanks with different thicknesses. *Metals*, 9(2),135. <https://doi.org/10.3390/met9020135>

Lazer Kaynağı ile Metal Malzemelerin Birleştirilmesi Üzerine Nümerik Bir İnceleme

KAYNAK KONGRESİ XIII. ULUSAL KONGRE VE SERGİSİ  
BİLDİRİLER KİTABI

DOĞRUDAN YÜK-TAŞIMAYAN KAYNAKLI BAĞLANTILARDA KAYNAK  
NÜFUZİYETİNİN YORULMA DAYANIMINA ETKİSİ

Öğr.Gör.Umut Yaşar UZUNALI<sup>1</sup>

Prof.Dr.Hamdullah ÇUVALCI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>KTÜ, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, TRABZON  
[uuzunali@ktu.edu.tr](mailto:uuzunali@ktu.edu.tr), [hcuvalci@ktu.edu.tr](mailto:hcuvalci@ktu.edu.tr),

ÖZET

Kaynaklı bağlantılar, metal bileşenleri birleştirmek için çeşitli endüstrilerde ve yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bağlantıların kalitesi ve bütünlüğü, yapısal güvenilirlik ve uzun ömür sağlamak için çok önemlidir. Özellikle, bir malzemenin tekrarlanan yükleme ve boşaltma döngülerine karşı direncini ifade eden yorulma mukavemeti, dinamik veya döngüsel yüklemeye maruz kalan kaynaklı yapılarda kritik bir husustur. Kaynaklı bağlantılarda yorulma dayanımını etkileyen önemli hususlardan bir tanesi de kaynak nüfuziyetidir. Yük taşımayan kaynaklı bağlantılar, uygulanan yükleri doğrudan taşımayan ancak yine de çalışma sırasında döngüsel yüklemelere maruz kalan bağlantılardır. Kaynak süreksizliklerine ek olarak yük taşımayan kaynaklı bağlantılarda nüfuziyet değerinin yorulma dayanımı üzerine etkisi vardır. Kaynaklı bağlantılarda kaynak nüfuziyetinin yorulma dayanımına etkisi deneysel çalışmalarla tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada zırh çeliğinden imal edilmiş kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımına kaynak nüfuziyetinin etkisinin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Kaynaklı bağlantı, yük-taşımayan bağlantı, kaynak nüfuziyeti, yorulma dayanımı, zırh çeliği

THE EFFECT OF WELD PENETRATION ON FATIGUE STRENGTH IN NON-LOAD-CARRYING WELDED JOINTS

ABSTRACT

Welded joints are widely used in various industries and structures to join metal components. The quality and integrity of these connections are critical to ensuring structural reliability and longevity. In particular, fatigue strength, which refers to the resistance of a material to repeated cycles of loading and unloading, is a critical issue in welded structures subjected to dynamic or cyclic loading. Moreover, an important issue that affects fatigue strength in welded joints is weld penetration. Non-load carrying welded joints are connections that do not directly carry the applied loads but are still subjected to cyclic loading during operation. In addition to weld discontinuities, weld penetration influences fatigue strength in non-load carrying welded joints. The effect of weld penetration on fatigue strength in welded joints can be determined by experimental studies. In this study, it is aimed to examine the effect of weld penetration on fatigue strength of cruciform welded joints made of armor steel.

Key Words: Welded joints, non-load-carrying joint, weld penetration, fatigue strength, armor steel

## 1.GİRİŞ

Zırh çelikleri günümüzde halen taktik tekerlekli veya paletli muharebe araçlarında balistik koruma sağlama üzerine kullanılmakta olan çeliklerdir [1]. Bu çelikler, askeri standartlarda belirtildiği üzere, su verilmiş ve sonrasında temperleme işlemi görmüş temperlenmiş martenzitik çeliktir (TMÇ) [2]. Su verme işlemi sonrası kademeli olarak gerçekleştirilen temperleme işlemi ile malzemenin sertlik değeri belirli değerlerde azalırken, sünekliği de belirli değerlerde artmaktadır. Farklı ürün gruplarında üretilen bu çelikler penetrasyon ve patlama kuvvetlerine karşı koyma amaçlı üretilmektedir. Zırh çelikleri içermiş olduğu alaşım elementlerine göre farklı ürün gruplarında sunulmaktadır [3].

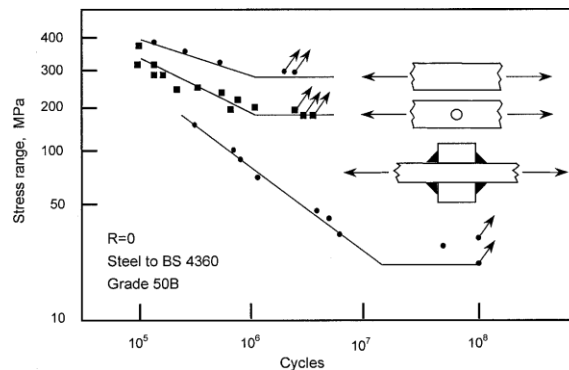
Tablo 1’de farklı ürün gruplarında üretilmiş zırh çeliklerinin kimyasal ve mekanik özellikleri gösterilmektedir. Bu çelikler belirli kalınlık değerlerinde, belirli bir balistik seviye sağlamaktadır.

**Tablo1.Farklı ürün gruplarındaki zırh çelikleri kimyasal ve mekanik özellikleri [3]**

Malzeme	Kimyasal kompozisyon									Mekanik özellikler		
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B	Akma mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Yüzde uzama (%)
Zırh çeliği 440T	0.25	0.50	1.20	0.015	0.005	1.00	2.00	0.60	0.003	1200	1300-1500	10
Zırh çeliği 500T	0.32	0.70	1.20	0.015	0.005	0.90	1.20	0.50	0.003	1200	1450-1750	7
Zırh çeliği 600T	0.45	0.70	0.80	0.015	0.004	0.50	3.00	0.60	0.003	1400	1950-2150	6

Kaynaklanabilirlik, malzemenin kaynaklanabilme yeteneği olarak ifade edilebilir [4,5]. Karbon ve alaşım elementlerinin artmasıyla çeliğin sertlik ve akma-çekme mukavemetinde artış, malzemenin yüzde uzaması ve kaynaklanabilirliğinde azalma gerçekleşmektedir [6]. Yüksek karbon ve alaşım elementlerine sahip bir çeliğin özel koşullar altında kaynaklanması gerekebilmektedir. Özel önlemler alınmazsa kaynak sonrası oluşabilecek beynitik ve/veya martenzitik yapı, malzemenin ısı tesiri altındaki bölgesinde (ITAB) gevrek davranış sergilemesine neden olabilecektir [6].

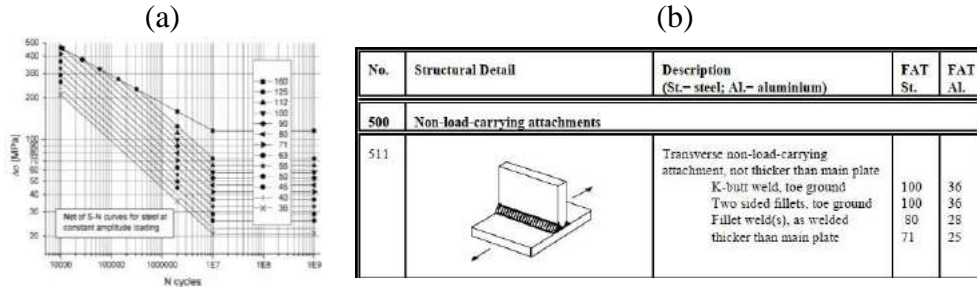
Kaynak prosesi günümüzde halen en sık kullanılan birleştirme yöntemlerinin başında gelmektedir. Bu proses, maliyet, imalat süresi vb. hususlardan birçok prosese üstünlük sağlasa da bilhassa birleşimin servis ömrü ve yorulma dayanımı açısından yapıyı olumsuz etkileyebilmektedir. Yorulma, birçok kaynaklı bağlantının doğası gereği düşük yorulma performansı sergilemesine ve yapının hasarlanmasına sebep olan bir süreçtir [7-10]. Yapısı gereği bağlantı bölgesinde oluşturacağı gerilme konsantrasyonları yapının servis ömrünü azaltacaktır (Şekil1).



**Şekil 1.** Yorulma dayanımına çentiğin ve kaynağın etkisi [7]

Kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımlarının belirlenmesi üzerine birçok tavsiye ve kılavuz mevcuttur. Bunlardan bazıları spesifik yapılara atıfta bulunmaktayken [11-18], bazıları ise genel olarak kaynaklı bağlantılara atıfta bulunmaktadır [19-21]. Metalik malzemelerin yorulma ömrü tahmini için yöntemler gerilme-ömür (S-N), gerinim-ömür ( $\epsilon$ -N) ve lineer elastik kırılma mekaniğidir (LEFM). Bu yöntemleri takiben kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımlarının değerlendirilmesi ile yaklaşımlar 1990'lı yıllardan itibaren kılavuzlarda, dokümanlarda vb. yer almıştır. 1996 yılında kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımlarının belirlenmesi üzerine geliştirilen tüm yaklaşımlar Radaç tarafından özetlenmiştir [22]. Bu yaklaşımlar 1990'lı yıllardan günümüze Uluslararası Kaynak Enstitüsünün (UKE) yayımladığı kılavuz ve tavsiye dokümanlarında yer almıştır [23]. Kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımlarının değerlendirilmesi için farklı metotlar mevcuttur. Bunlar, nominal gerilme yaklaşımı, yapısal veya hot-spot gerilme yaklaşımı, çentik gerilme yaklaşımı, çentik gerinim yaklaşımı ve çatlak ilerleme yaklaşımıdır.

Kaynak geometrisinin ortaya çıkardığı gerilme konsantrasyonları haricinde kaynak nüfuziyeti (KN) veya ergime derinliği (ED) kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımı etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. UKE'nin 2008 yılında yayımlanmış olduğu "Kaynaklı Bağlantıların Yorulma Tasarımı için Öneriler" dokümanına bakıldığında SN eğrileri sadece bağlantı tipleri için tanımlanmış, bu bağlantıların kaynak nüfuziyeti veya ergime derinlikleri ile ilgili herhangi bir bilgi verilmemiştir [23] (Şekil 2). Yük taşıyan çift taraflı T birleşim (*cruciform*) tipte kaynaklı bağlantılarda nüfuziyet artışı yorulma dayanımını artırmaktadır. Lakin yük taşımayan kaynaklı bağlantılarda kaynak nüfuziyeti artışının yorulma dayanımına etkisi deneysel çalışmalar sonucu belirlenebilmektedir.



Şekil 2. Kaynaklı bağlantı SN eğrileri (a), Çelik malzemede yapısal detaylar için yorulma direnci değerleri (b) [23]

KN (*weld penetration*) birçok standartta tanımlanmış olmakla birlikte ED (*depth of fusion*) sadece AWS standardında tanımlanmıştır [24-27]. Tablo 2, bu adlandırmaları özetlemektedir. Standartlardaki tanımlar karşılaştırıldığında birbiriyle örtüşen tanımlar olduğu gibi örtüşmeyen tanımlar da mevcuttur (örneğin; AWS A3.0 ve DIN EN ISO 17659 standartlarındaki kök nüfuziyeti) [28].

Tablo 2. EN 1993-1-8, AWS A3.0, ISO 2553 ve DIN EN ISO 17659 standartlarına göre tanımlar ve gösterimler [24-27]

Standart	Kaynak nüfuziyeti (KN)		Ergime derinliği (EN)	
	Tanım	Şekil	Tanım	Şekil
EN 1993-1-8	Tam nüfuziyetli alın kaynağı	Şekil yok	Tanım yok	Şekil yok
	Kısmi nüfuziyetli alın kaynağı	Şekil yok		
AWS A3.0	Kök nüfuziyeti	Şekil var	Tanım var	Şekil var
	Bağlantı nüfuziyeti	Şekil var		
ISO 2553	Nüfuziyet derinliği	Şekil var	Tanım yok	Şekil yok
	Ergime nüfuziyeti	Şekil var		
DIN EN ISO 17659	Kök nüfuziyeti	Şekil var	Tanım yok	Şekil yok



Metalik malzemelerin yorulma dayanımlarının belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalara on dokuzuncu yüzyılın başlarında rastlanılmaktadır. Teknolojinin gelişimiyle yüksek mukavemetli çeliklerin imal edilmesi sonrası bu malzemelerin yorulma dayanımlarının belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalar 1970'li yıllarda hız kazanmıştır. Kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımlarının tahmini üzerine yorulma yaklaşımları bu yıllarda oluşum göstermiş olup 1990'lı yılların başında kullanılmaya başlanılmıştır. Lakin yapılan çalışmalara bakıldığında, TMCÇ'lerin yorulma dayanımlarının belirlenmesi üzerine yapılmış çalışmalara rastlansa da bu çalışmaların birçoğunun dönel eğmeli yorulma deneyi ile gerçekleştirildiği görülmektedir [29-30]. KN veya ED'ni dikkate alarak kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımlarının belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalara 1990'lı yıllardan sonra rastlanmaktadır [31-32]. TMCÇ'ten imal edilmiş farklı KN veya ED'ye sahip kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımlarının belirlenmesi üzerine çalışmalara pek de rastlanmamaktadır. Bu çalışmada zırh çeliğinden imal edilmiş yük taşımayan çift taraflı T birleşim tipte kaynaklı numunelerin (CTKN) yorulma dayanımlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 2.1. KAYNAK PROSESİ

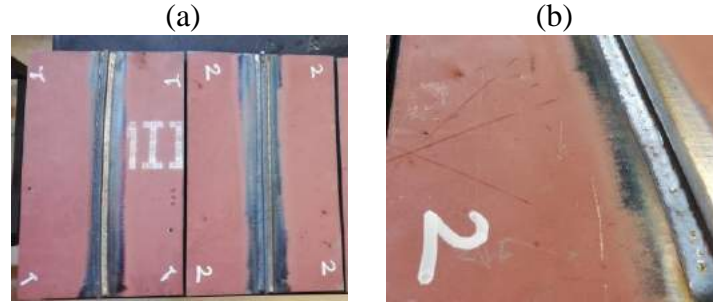
Deneyisel çalışma için TMCÇ'den imal edilmiş askeri standartlara uygun 6,7mm kalınlığında zırh çeliği seçilmiştir. Bağlantı tipi, yük taşımayan çift taraflı T birleşim tipte seçilmiştir. Kaynak öncesi malzemenin doğrulanması için plakalar kimyasal analiz, sertlik testi, makro muayene, çekme testine, iç süreksizliklerinin değerlendirilmesi adına da ultrasonik muayeneye tabi tutulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Plakaların ultrasonik muayenesi

Yapılan kimyasal analiz sonucunda, değerlerin üretici firmanın sunmuş olduğu değerleri karşıladığı tespit edilmiştir. MIL-DTL-46100E [2] ilgili seviyedeki zırh plakasının sahip olması gereken Brinell sertlik değerini HB 477 – HB 534 arasında tanımlar. Plaka yüzeyinden ve plaka kesitinden alınan sertlik değerleri yaklaşık 490 Brinell sertlik değerindedir. Çekme testleri ISO 6892-1 [33] kapsamında gerçekleştirilmiştir. Çekme testi, malzemenin üretici kataloğundaki değerleri karşılayıp karşılamadığı ve malzemenin nasıl bir akma davranışı sergileyeceğinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Ayrıca malzemenin akma, çekme mukavemeti ve yüzde uzamasının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Kaynaksız numunelere çekme testi uygulanmasının bir diğer amacı, sonuçların kaynaklı numune test sonuçlarıyla karşılaştırılmasıdır. Yapılan testler sonucu malzemenin akma mukavemeti 1350 N/mm<sup>2</sup>, çekme mukavemeti 1765 N/mm<sup>2</sup> ve yüzde uzama değeri 10.5 olarak elde edilmiştir (3 adet testin ortalama değeri). Ayrıca kaynaklı numunelerin yorulma dayanımlarının değerlendirilebilmesi adına malzemenin yorulma testleri gerçekleştirilmiş ve SN eğrileri elde edilmiştir. Kaynak öncesi plakalar EN 10160 standardı kapsamında ultrasonik muayeneye tabi tutulmuştur. Her bir plaka S3E4 duyarlılık sınıfına göre değerlendirilmiştir. Plakaların kalınlığının düşük olması nedeniyle incelemeler çift kristal prob (4MHz) ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan kontroller sonucu plakalarda herhangi bir süreksizliğe rastlanmamıştır.

Plakaların kaynak işlemleri EN ISO 15614-1 [34] kapsamında gazaltı kaynak yöntemi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Farklı KN veya ED elde etmek için plakalar iki farklı kaynak parametresi ile kaynaklanmıştır. Kaynak parametreleri Tablo 3'te verilmiştir. Kaynak işlemi için tel çapı 1.2 mm olarak seçilmiştir. Kaynak teli, minimum akma dayanımı 420 N/mm<sup>2</sup> olan, alaşımsız bir dolgu telidir. Dolgu telinin kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 4'te verilmiştir. Kaynak işlemi sırasında kullanılan koruyucu gazlar saf veya karışım gaz olabilmektedir. Koruyucu gaz seçimi kaynak dikişi profili, kaynak kalitesi ve mukavemet açısından önemlidir. Ayrıca koruyucu gazın karışım gazı olması halinde, koruyucu gazın türü ve yüzdesi KN veya ED üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu bağlamda MAG kaynak işlemi için koruyucu gaz ISO 14175 [35] kapsamında M25 karışımlı gaz olarak seçilmiştir. Karışım gazı içeriği Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Plakaların kaynak sonrası görünümü (a), kaynak dikişi görünümü (b),

Tablo 3. Kaynak parametreleri

Kaynaklı parça no	Paso sayısı	Kaynak yöntemi	Tel çapı (mm)	Akım (I)	Voltaaj (V)	İlerleme hızı (mm/sn)	Termal katsayı	Isı girdisi (kJ/mm)
1	1	135	1.2	170-185	24-24.5	4.82	0.80	0.68-0.75
	2			170-185	24-24.5	5.06	0.80	0.64-0.72
	3			170-185	24-24.5	5.13	0.80	0.64-0.71
	4			170-185	24-24.5	5.19	0.80	0.63-0.70
2	1	135	1.2	250-270	26.5-27	7.14	0.80	0.74-0.82
	2			250-270	26.5-27	7.41	0.80	0.72-0.79
	3			250-270	26.5-27	7.27	0.80	0.73-0.80
	4			250-270	26.5-27	7.55	0.80	0.70-0.77

Tablo 4. Kaynak teli kimyasal ve mekanik özellikleri

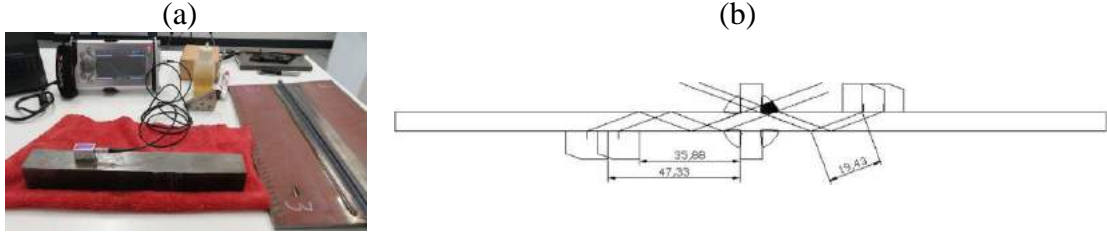
Kimyasal kompozisyon	C	Si	Mn	P	S
	0.08	0.85	1.45	< 0.010	< 0.010
Mekanik özellikler	Akma mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	Çentik darbe enerjisi ISO-V/-30°C	Uzama Lo=5do (%)	
	Min.420	500-640	Min.47J	Min.22	

Tablo 5. Koruyucu gaz bileşimi

Koruyucu gaz grubu	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Ar
M25	5<CO <sub>2</sub> <15	3<O <sub>2</sub> <10	Ana muhteva

Kaynak işlemi sonrası kaynaklı parçalar (KP) öncelikle tahribatsız muayene testlerine tabi tutulmuştur. Görsel muayene EN ISO 17637 [36] standardı kapsamında gerçekleştirilmiş olup KP'lar EN ISO 5817-B [37] kalite seviyesine göre değerlendirilmiştir. Penetrant muayene EN ISO 3452-1 [38] standardı kapsamında gerçekleştirilmiş olup KP'lar EN ISO 23277 [39] kabul seviyesi 1'e göre değerlendirilmiştir. Her ne kadar EN ISO 17640 [40] ultrasonik muayene için minimum kalınlığı 8mm ve köşe kaynaklarında kontrol için tam nüfuziyetli birleşime işaret etse de KP'lar bu standart dikkate alınarak kökte ergime eksikliği değerlendirilmesi yapılmaya çalışılmıştır (Şekil 5). Kaynakların kısmi nüfuziyetli olması, malzeme kalınlığının 8 mm'den düşük olması ve kaynak dikişlerinin birbirine çok yakın olması kontrolü güç kılmaktadır. Bu

sebepten sağlıklı bir değerlendirme yapılamamıştır. Çalışma açılı TR probla da yapılmaya çalışılmış olup net bir sonuç alınamamıştır. 70 dereceli açılı probla tam sekme taraması sonucu KP no 1'in bazı bölgelerinde yetersiz nüfuziyet (*lack of penetration*) tespit edilmiştir.



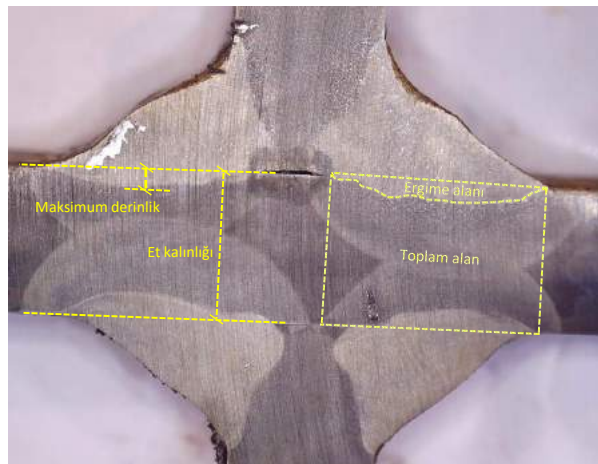
Şekil 5. KP'ların ultrasonik muayenesi (a), 70 derece açılı prob kök değerlendirmesi (b),

KP'lar tahribatsız muayene sonrası su jeliyle kesilmiştir. Kesim sonrası elde edilen CTKN'ler sertlik testi, makro muayene, çekme testi, KN testi ve yorulma testine tabi tutulmuştur. Sertlik testi sonucu ITAB bölgesinde sertlik artışı tespit edilmemiştir. CTKN 2'nin orta kesitinde sertlik değerlerinin 200 Vickers değerlerine kadar düştüğü tespit edilmiştir. CTKN 2 orta kesitindeki sertlik düşüşü CTKN 1'e göre daha fazladır. Makro muayene ile kaynak metali, ana metal ve ITAB bölgelerinin incelenmesi amaçlanmıştır. CTKN 1'in neredeyse tüm kaynak dikişlerinde yetersiz nüfuziyet tespit edilmiştir (Şekil 6). Farklı büyütme oranlarında yapılan incelemeler sonucu kaynak metalinin dentritik yapıda olduğu, erime çizgisi ITAB tarafında yumuşama etkisi tespit edilmiştir.



Şekil 6. CTKN 1 makro muayene görüntüsü (a), 2 numaralı kaynak yetersiz nüfuziyet görüntüsü (b),

Kaynaklı numunelere uygulanan çekme testi sonucu kaynaklı numunelerin akma değerlerinin yaklaşık yüzde 37, çekme değerlerinin yaklaşık yüzde 47 kadar düştüğü tespit edilmiştir. KN testi makro kesit görüntüleri üzerinden gerçekleştirilmiş olup nüfuziyet veya ergime oranı hem uzunluk cinsinden hem de alan cinsinden değerlendirilmiştir. Şekil 7'de kaynaklı numunelerin nüfuziyet veya ergime oranı ile ilgili değerlendirme yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 7. KN değerlendirme yöntemleri

Uzunluk cinsinden nüfuziyet veya ergime oranı maksimum derinliğin et kalınlığına oranıdır. Bu değerlendirme çoğu zaman yanlış sonuçlar verebilmektedir. Uzunluk yerine alan birimini dikkate alan değerlendirmede nüfuziyet veya ergime oranı, ergime alanının toplam alana oranıdır. Toplam alan bulurken oluşturulan dörtgenin bir kenar uzunluğu et kalınlığı, diğer kenar uzunluğu ise kaynak ucu ve kaynak kökünün uç noktaları arasındaki mesafedir. Bu yöntemle yapılan değerlendirmeler daha sağlıklı sonuçlar verebilmektedir. Tablo 6’da CTKN 1 ve 2’nin her bir kaynak dikişinin nüfuziyet veya ergime oranı hem uzunluk birimi hem de alan cinsinden verilmiştir.

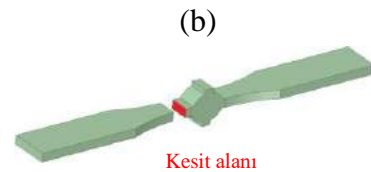
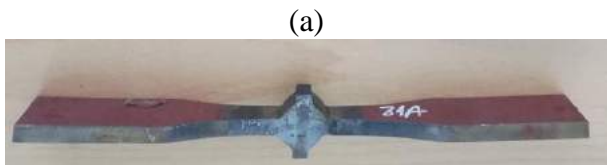
**Tablo 6. Kaynaklı numune nüfuziyet veya ergime oranları**

Kaynaklı numune no	Kaynak no	Uzunluk birimi cinsinde			Alan birimi cinsinde			Notlar
		Maximum derinlik (MD) (mm)	Malzeme et kalınlığı (MEK) (mm)	MD/MEK	Ergime alanı (EA) (mm <sup>2</sup> )	Toplam alan (TA) (mm <sup>2</sup> )	Kaynak kök durumu	
CTKN 1	1	0.58	6.75	8.59	2.47	57.84	4.27	Var
	2	0.87	6.75	12.88	6.18	73.56	8.40	Yok
	3	1.12	6.75	16.60	6.59	58.41	11.28	Var
	4	1.28	6.75	18.96	7.12	62.78	11.34	Var
CTKN 2	1	2.08	6.75	30.81	14.77	75.48	19.56	Yok
	2	2.25	6.75	33.33	16.42	68.76	23.88	Yok
	3	2.11	6.75	31.25	15.52	64.87	23.92	Yok
	4	2.69	6.75	39.85	16.75	63.85	26.23	Yok

Tahribatsız ve tahribatlı testlerden birçoğunun tamamlanması sonrası kaynaklı numunelerin yorulma testleri gerçekleştirilmiştir. Yorulma testleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi bünyesinde mevcut 100kN dinamik yükleme kapasiteli servo-hidrolik yorulma test cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 8). Yorulma testinde amaç kaynak nüfuziyetinin yorulma dayanımına etkisini tespit etmektir. Yorulma testleri UKE dokümanları, EN ve ASTM standartları dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. CTKN’leri yük taşımayan tiptedir ve kaynaklı parçalardan su jeti kesim yöntemiyle çıkartılmıştır (Şekil 9). Çalışma gerilme-ömür teorisi üzerine gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 8.** Servo-hidrolik yorulma test cihazı



**Şekil 9.** Yük taşımayan CTKN (a), test için dikkate alınan kesit alanı (b)

Şekil 9-b'de gösterilen kesit alanına yaklaşık 270 N/mm<sup>2</sup>'ye denk gelecek kuvvet her bir numuneye uygulanmıştır. CTKN 1 ve 2'yi temsil eden üçer adet numune yorulma testine tabi tutulmuştur. Testler numunelerin eğilme ihtimali göz önünde bulundurularak 5Hz'de ve tam değişken tekrarlı yükleme (R=-1) şeklinde gerçekleştirilmiştir. Tablo 7'de yorulma testi sonuçları verilmiştir.

**Tablo 7. CTKN'lerin yorulma testi sonuçları**

Kaynaklı numune no	Kesitteki gerilme (N/mm <sup>2</sup> )	Uygulanan Kuvvet (kN)	Test frekansı (Hz)	Çevrim sayısı	Eğilme önleyici aparat	Numune durumu	Sonuç
CTKN 1-1	270	25.1	5	36125	Yoktur	Su jeti kesim	Kopma gerçekleşmiştir
CTKN 1-2		24.2		31477			
CTKN 1-3		24.4		40128			
CTKN 2-1		24.2		15614			
CTKN 2-2		24.6		26172			
CTKN 2-3		24.5		20788			

Çevrim sayıları üzerinden değerlendirme yapıldığında, CTKN 2 numunelerinin yorulma dayanımlarının CTKN 1 numunelerine oranla daha düşük olduğu görülmektedir. Nüfuziyet artışıyla yorulma dayanımının düştüğü görülmektedir. Numunelerin kaynak parametreleri incelendiğinde ısı girdisi değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir (Tablo 3). Lakin kaynak nüfuziyetlerine bakıldığında CTKN 1 numunelerinde yaklaşık %8.75 olan EA/TA oranı CTKN 2 numunelerinde (ortalama) %23 değerlerindedir. Bu durum kaynak parametrelerinden amperin kaynak nüfuziyeti üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. CTKN 2 numuneleri incelendiğinde orta kesit bölgesinde sertlik değerlerinin 200 Vickers değerlerine kadar düştüğü görülmektedir. Bu düşüş CTKN 1 numunelerinde daha azdır. Bölgedeki tane irileşmesi ile yapının sertliğindeki düşüşün yanında yapının sünekliğinde de düşüş yaşanmaktadır. CTKN 1 numunelerinde bu düşüşün daha az olması yorulma dayanımlarının CTKN 2 numunelerine göre daha yüksek olmasına sebebiyet vermiştir.

### 3. SONUÇ

Bu çalışmada yük taşımayan çift taraflı T birleşim (cruciform) tipte kaynaklı bağlantıların yorulma dayanımlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Farklı kaynak nüfuziyetine sahip numuneler öncelikle tahribatsız testlerden görsel, penetrant ve ultrasonik muayeneye sonrasında tahribatlı testlerden sertlik, makro muayene, çekme testi, KN testi ve yorulma testlerine tabi tutulmuştur. Bu kapsamda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir;

- Kaynak öncesi yapılan tahribatlı testler sonucu malzemenin üretici firmanın sunmuş olduğu değerleri sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca malzemenin MIL-DTL-46100E standardında belirtilen değerleri karşıladığı tespit edilmiştir.
- Kaynaklı plakalara uygulanan ultrasonik muayene testi sonucunda KP 1'in bazı bölgelerinde yetersiz nüfuziyet tespit edilmiştir.
- Sertlik testi sonucu CTKN 2'nin orta bölgelerinde sertlik değerlerinin 200 Vickers değerlerine kadar düştüğü tespit edilmiştir.
- Makro muayene testi sonucu CTKN 1 numunesinde yetersiz nüfuziyet tespit edilmiştir.
- CTKN 2'nin CTKN 1'e göre kaynak nüfuziyet oranının daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
- Yorulma testi sonucu CTKN 1'deki kaynak nüfuziyetine sahip 3 adet numunenin kopmaya karşılık gelen çevrim sayılarının ortalaması 35910 iken CTKN 2'deki numunelerin ortalaması 20858'dir.



## REFERANSLAR

1. <https://www.ssab.com/en/brands-and-products/armox>
2. MIL-DTL-46100E, Detail specification: armor plate, steel, wrought, high-hardness, 2008.
3. <https://www.miilux.fi/en/miilux-protection/>
4. J. C. Lippold, Welding metallurgy and weldability, 2nd ed., John Wiley & Sons, America, 2014.
5. N. Bailey, Weldability of ferritic steels, 1st ed., Elsevier, England, 1994.
6. O. S. Odebiyi, S. M. Adedayo, L. A. Tunji, M. O. Onuorah, A review of weldability of carbon steel in arc-based welding processes, Cogent Engineering, vol. 6, no. 1, pp. 130-162, 2019, DOI: 10.1080/23311916.2019.1609180
7. Maddox, Stephen J. "Fatigue design rules for welded structures." Progress in structural engineering and materials 2.1 (2000): 102-109.
8. Gurney T R: 'Fatigue of welded structures', 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 1979.
9. Fisher J W: 'Fatigue and fracture in steel bridges', Wiley Interscience, 1984.
10. Maddox S J: 'Fatigue strength of welded structures', Abington Publishing, Abington, Cambridge, 1991.
11. British Standards Institute: 'Steel, concrete and composite bridges: Part 10 - Code of Practice for Fatigue', BSI, London, 1980.
12. AASHTO: 'Standard specifications for highway bridges', LRFD, 1st Edition, 1994.
13. Eurocode 3: 'Design of steel structures', prENV 1993, European Committee for Standardisation, Brussels, 1992.
14. Offshore Installations: 'Guidance on design, construction and certification', UK Health and Safety Executive, 4th Edition, 1990, Amendment No.3, London, 1995.
15. American Petroleum Institute: 'Recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms', RP2A, 20th Edition, API, Washington, 1993.
16. BS8118, Part 1: 'Structural use of aluminium: Code of practice for design', British Standards Institution, BSI, London, 1992.
17. European Convention for Constructional Steelwork: 'European recommendations for aluminium alloy structures - fatigue design', Publication No. 68, ECCS, Brussels, 1992.
18. Eurocode 9 (Draft): 'Design of aluminium alloy structures, Part 2: Structures susceptible to fatigue', prENV 1999, Part 2 CEN/TC/250/SC9/N89, European Committee for Standardisation, Brussels, June 1996.
19. American Welding Society: 'Structural Welding Code - Steel', ANSI/AWS D.1., AWS, Miami, 1996.
20. BS7608: 'Code of Practice: Fatigue design and assessment of steel structures', British Standard, BSI, London, 1993.
21. Radaj, Dieter, and Michael Vormwald. Advanced methods of fatigue assessment. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013.
22. Radaj, D. "Review of fatigue strength assessment of nonwelded and welded structures based on local parameters." International Journal of Fatigue 18.3 (1996): 153-170.
23. IIW Fatigue Recommendations IIW-1823-07/XIII-2151r4-07/XV-1254r4-07 Dec. 2008.
24. EN 1993-1-8:2005, Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints.
25. AWS A3.0M/A3.0:2010, An American National Standard, Approved by the American National Standards Institute, July 1, 2009, Standard Welding Terms and Definitions Including Terms for Adhesive Bonding, Brazing, Soldering, Thermal Cutting, and Thermal Spraying 12th Edition.
26. ISO 2553:2019, Welding and allied processes - Symbolic representation on drawings – Welded joints.
27. DIN EN ISO 17659:2002, Welding - Multilingual terms for welded joints with illustrations.



28. Uzunali, Umut Yaşar, and Hamdullah Çuvalcı. "Review of the Definition of Weld Penetration, Depth of Fusion and Throat Thickness on Fillet Welds." *Gazi University Journal of Science* (2023): 1-1.
29. Ulewicz, Robert, Paweł Szataniak, and Franisek Novy. "Fatigue properties of wear resistant martensitic steel." 23rd International conference on metallurgy and materials. 2014.
30. Ulewicz, Robert, et al. "Fatigue properties of the HSLA steel in high and ultra-high cycle region." *Production Engineering Archives* 4.3 (2014): 18-21.
31. Dung, Cao Vu, et al. "Investigations on the effect of weld penetration on fatigue strength of rib-to-deck welded joints in orthotropic steel decks." *International Journal of Steel Structures* 15 (2015): 299-310.
32. Hanji, Takeshi, et al. "Effect of weld penetration on low-cycle fatigue strength of load-carrying cruciform joints." *Welding in the World* 64 (2020): 327-334.
33. ISO 6892-1, *Metallic materials — Tensile testing — Part 1: Method of test at room temperature*, 2019.
34. EN ISO 15614-1, *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. Welding procedure test Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys*, 2019.
35. ISO 14175, *Welding consumables - Gases and gas mixtures for fusion welding and allied processes*, 2009.
36. EN ISO 17637, *Non-destructive testing of welds - Visual testing of fusion-welded joints*, 2017.
37. EN ISO 5817, *Welding - Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) - Quality levels for imperfections*, 2014.
38. EN ISO 3452-1, *Non-destructive testing. Penetrant testing General principles*, 2021.
39. EN ISO 23277, *Non-destructive testing of welds - Penetrant testing - Acceptance levels*, 2015.
40. EN ISO 17640, *Non-destructive testing of welds - Ultrasonic testing - Techniques, testing levels, and assessment*, 2019

# ATIMLI FORM PARAMETRESİNİN LAZER KAYNAK DİKİŞLERİNE OLAN ETKİLERİN ARAŞTIRILMASI

*Atakan Danişmend<sup>1, a</sup>, Hüseyin Özden<sup>2, b</sup>*

<sup>1</sup>Mechanical Engineering Department/ Ege University

<sup>2</sup>Mechanical Engineering Department/ Ege University

<sup>a</sup> atakandanismend@gmail.com, <sup>b</sup> huseyin.ozden@ege.edu.tr

**ÖZET** Uygulanan proje çalışmasında darbe formu ve darbe frekansı lazer parametrelerin kaynak işlemine olan etkileri araştırılmıştır. Farklı darbe formu ve darbe frekans değerleri ile çok sayıda lazer kaynak dikişli numuneler hazırlanmıştır ve incelenmiştir. Kaynak sırasında ısı enerji dozajı istenilen şekilde ve miktarda darbe formu ve frekansı ile malzemeye transfer edilmeğe çalışılmıştır. Odak noktasındaki yüksek ısı enerjisi nedeniyle kaynak dikişlerinde malzemenin buharlaşarak önemli ölçüde kaybolmadığı tespit edilmiştir. Ve mekanik teknolojik özelliklerin korunduğu, kaynak dikişlerinin yüzey görünümünü, pullanmayı da iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Geçmişte imkânsız olan kaynakların atımlı lazer kaynak yöntemi ile gerçekleştirileceği teyit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Lazer, Darbeli Kaynak, Parametre, Puls Form, Frekans, Araştırma

## INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF PULSE FORM PARAMETER ON LASER WELDING SEAMS

**ABSTRACT** In the applied project study, the effects of pulse form and pulse frequency laser parameters on the welding process were investigated. A large number of laser welded samples with different pulse form and pulse frequency values were prepared and examined. During welding, the heat energy dosage was tried to be transferred to the material in the desired shape and amount with the pulse form and frequency. It has been determined that the material in the weld seams does not evaporate significantly due to the high heat energy at the focal point. It has been observed that the mechanical and technological properties are preserved and the surface appearance and flaking of the weld seams are improved. It has been confirmed that welding, which was impossible in the past, can be achieved by pulsed laser welding method.

**Keywords:** Laser, Pulsed Welding, Parameter, Pulse Form, Frequency, Research

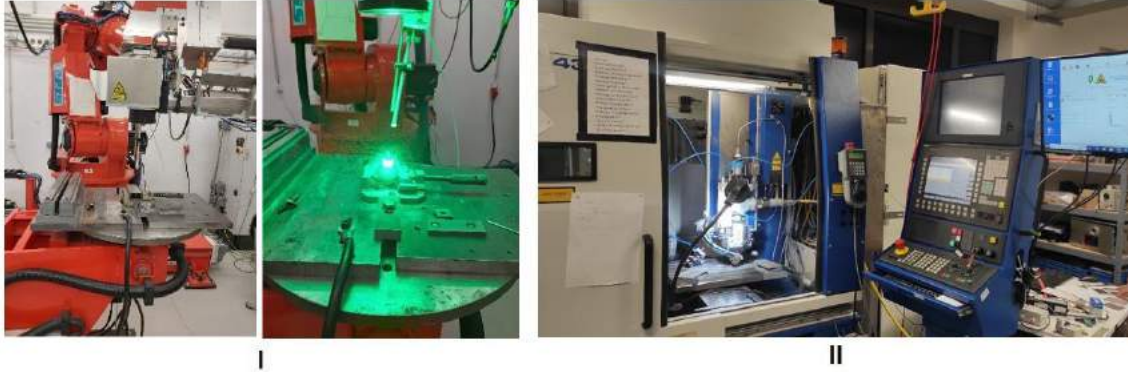
### 1. GİRİŞ

Geçmişte ve halen yaygın kullanılan E, TIG, MIG, MAG gibi konvansiyonel ergitme kaynak yöntemleri, kaynak kabiliyeti yeterli olan malzemelerde, çeliklerde ve metallerde uygulanıyor. Farklı malzemelerden oluşan karmaşık malzemelerin ve yüksek dayanımlı alaşımlı çelik metal malzemelerin ergitme kaynağında sorunlar çıkmaktadır. Kısaca, geliştirme potansiyelini tamamlamış ergitme kaynak yöntemleri; günümüzün kaynak bağlantılı sanayi ürünlerin üretimlerinde karşılaşılan sorunlarına yetersiz kalmaktadırlar.

Farklı arayışlar içerisinde lazer kaynak yöntemleri geliştirilmiştir. 1960 Yıllarında CO2 Gaz lazer Kaynak Makinaları ile malzemelerin kesimlerinde uygulanmıştır. 2000 yıllarına kadar Lazer Kaynak yöntemlerinin kullanımı kısıtlı kalmıştır otomobil firmalarının, gemi tersanelerinde özel tasarımların kaynağında sınırlı kullanılmıştır. Lazer teknolojisindeki gelişmeler lazer üretim yöntemlerine olumlu yansımaktadır. Sanayide mal ve hizmet ürünlerinde lazer üretim yöntemlerinin kullanımını artırmakta ve yaymaktadır. Geliştirilen yüksek güçlü ve kaliteli lazerli darbeli lazer kaynak makineleri ile geçmişte teknik ekonomik değer açısından sorunlu, hatta imkânsız olan kaynak işlemlerin gerçekleştirilmesi için bilimsel çalışmalar sürdürülmektedir. [1-6]

Lazer Kaynak Makinalarının gücü ve kalitesi artıkça, lazer üretim yöntemlerinin özellikle lazer kaynak yöntemlerinin kullanımı yurtdışında sanayisi gelişmiş ülkelerde gelişerek konvansiyonel üretim yöntemlerinin yerini

almaktadır. Türkiye’de, lazer konusunda hala kayda değer ARGE Faaliyetleri, çalışmaları ve yaygın kullanım alanları yok denecek kadardır! Türkiye’de ilk kez EÜ de 2004 yılından beri lazer ile ilgili lisansüstü dersleri verilmeğe başlanılmıştır, Lazer kaynaklı numunelerin hazırlanmasında, Almanya’da Berlin Teknik ve Bochum Ruhr Üniversitelerin Laboratuvarlarından faydalanılmıştır. Şekil 1.



Şekil 1. Berlin Teknik Üniversitesi I ve Bochum Ruhr Üniversitesi II Lazer Kaynak Laboratuvarları

Pulslu lazer kaynak yöntemleri ile ilgili doktora tezlerinden [8, 9] derlenen; çelik ile Alüminyum ve Çelik ile Bakır dan oluşan farklı malzemelerin karmalı lazer kaynağında karşılaşılan sorunlara çözüm amaçlıdır. Pulslu, (atımlı) olmayan yani düz lazer kaynak yöntemi CV ve pulslu ile yüksek dayanımlı çeliklerin, uçaklarda kullanılan alüminyum serisi metallerin lazer kaynak dikişlerinde, bağlantılarında benzeri zorluklar yaşanmıştır [3].

## 2. LAZER, ÇELİK VE METAL MALZEMELERİN İŞLENMESİ

**Lazer;** Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation İngilizce sözcüklerinin ilk harfleri ile tanımlanmıştır. Türkçe karşılığı, dıştan uyarılmış radyasyon sakınımları ile ışık, ışının güçlendirilmesidir. Yoğunlaştırılmış Elektromanyetik dalga Enerjisidir. Çıplak gözle görülebilen, ışık ve çıplak gözle görülemeyen ışın, tek renkli lazer demetidir.

**Lazerler;** (lazer cihazları, lazer makinaları, lazer silahları) birer Fotonik, Optik teknoloji ürünleridir.)

**Foton;** Elektromanyetik ışık, ışın enerjisinin en küçük temel parçacığdır, ışık ışın taneciğidir.

**Elektron;** Atomun negatif yüklü en küçük, temel parçacığdır, atomun en küçük taneciğidir.

**Optik;** ışık, ışının tüm davranışlarını ve özelliklerini inceleyen bilim dalıdır.

Lazerdeki gelişmelere paralel olarak günümüzde Optoteknik, Fiber Optik ve Diyot Lazerler önem kazanmaktadır [1, 2, 4, 6, 7]. Ergitme kaynağında malzemelerin işlenmesinde arkın enerji yoğunluğu  $E_{Ark} = 2 \times 10^2 \text{ W/cm}^2$  ile  $5 \times 10^4 \text{ W/cm}^2$  arasında değişirken, lazer odak noktasında yoğunlaştırılan enerji miktarı  $E_{Lazer} = 10^3 \text{ W/cm}^2$  ile  $10^8 \text{ W/cm}^2$  arasında değişmektedir. Odak Noktasının enerji yoğunluğuna göre Lazer İşleme Yöntemleri: Isıtma Yöntemi; Güç Yoğunluğu  $E < 10^4 \text{ W/cm}^2$ , Isıtma, ısı ve yüzey işlemlerin uygulanmasında, şekillendirme tercih edilir. Ergitme, Sıvılaştırma Yöntemi; Güç yoğunluğu, ( $10^4 \text{ W/cm}^2 < E < 10^6 \text{ W/cm}^2$ , Ergitme kaynak işlerinde ve malzemelerin ısı ve yüzey işlemlerinde kullanılır) Derin Nüfuziyet Yöntemi diğer adı ile Anahtar Deliği Yönteminde güç yoğunluğu; ( $10^6 \text{ W/cm}^2 < E < 10^8 \text{ W/cm}^2$  arasındadır. Kaynak, kesme, delme, teknik yüzey işlemlerinde uygulanmaktadır, Buharlaştırma Yöntemi, Lazer Süblimasyon Yöntemi olarak bilir. Enerji yoğunluğu  $E > 10^8 \text{ W/cm}^2$  büyüktür. Lazer ısı enerjisinin aşırı yüksek enerjisi ile malzeme katı halden sıvılaşmadan anında buharlaşmaktadır. Yüksek işlem hızları söz konusu olmaktadır. Kaynak, kesme, oyuk kanal açma, delme işlemlerinde kullanımı artmaktadır.

Lazer; Sanayide mal, hizmet üretimlerinde; çok amaçlı kullanımlı, temasız birtakım olarak kullanılmaktadır. Önem sırası dikkate alınmadan lazerli imalat yöntemlerin bir sıralanması:


- Lazerle Birleştirme Yöntemleri, (lazer kaynağı, lazer lehim, lazer yapıştırma),
- Lazerli Talas Kaldırma Yöntemleri, (ayırma, kesme, delme, oyuk, kanal, dış açma)
- Lazer Yüzey İşleme Yöntemleri, (sertleştirme, kaplama, yüzey modifiye, temizleme)
- Lazer Yüzey Şekillendirme, Renklendirme,
- Lazer Markalama,

- Lazer Malzeme Buharlaştırma (Malzeme tıraşlama, eksiltme)
- Lazerle Plastik Şekil Verme, Lazerli Dökme,
- Malzeme İyçyapı Özelliklerinin Lazerle Değiştirilmesi,
- Lazer Alaşımılama
- Lazer Taramalı Sinterleme Yöntemi, 3D Baskı Yöntemleri,

Genelde sanayide kullanılan bütün malzemelerin işlenmesinde, malzeme ve maddelerin analizlerinde, ölçme, muayene, kontrollerde lazer üretim yöntemleri kullanılmaktadır. İmalat yöntemleri, sanayi ürünlerinin şekillendirme işlem süreçlerine tabi tutularak somut hale getirilmesidir. Üretim yöntemleri tasarım aşamasından ta kullanılır hale gelinceye kadar tüm işlem süreçlerini ele almaktadır, yani ürünün imalatı yanında ölçme, analizleri, kontrolleri vb. işlemler dikkate alınmaktadır.

Günümüzde Sanayide kullanılan lazer makinaların güçleri  $P = 2 \text{ kW}$  ile  $100 \text{ kW}$  arasında değişmektedir. Genelde materyallerin işlenmesinde  $P = 2 \text{ kW}$  ile  $P = 10 \text{ kW}$ 'lık çıkış gücündeki lazer makinaları yeterli olmaktadır. Güç artıkça, işlem hızı, kaynak malzeme nüfuziyeti, sürekli çalışma süresi artmaktadır, bir den fazla fiber kablo ile paralel birçok işlem yapılabilmektedir. Fiber Lazer Makinaları, Diyet Lazer Makinaları, Diyet Pompalı Nd-YAG Katı Lazer Makinaları,  $\text{CO}_2$  Gaz lazer Makinaları sanayide kullanılmaktadır. Yüksek verim, kaliteli lazeri nedeniyle fiber lazer makinaları günümüzde önerilmektedir. (Geçmişte Nd:YAG katı lazer makinalarında elektrik prizinden alınan elektrik enerjinin faydalı işte kullanımı sadece % 3 gibi çok düşüktü! Bunun yanında kapladıkları alan çok büyük ve ağır, bir o kadar da pahalıydılar). Günümüzde lazer makinalarının verimleri artmıştır, diyet pompalı katı lazerlerde verim  $\eta = \% 20$ , fiber lazer makinalarında verim  $\eta = 30$ , diyet lazer makinalarının verimi ise %60'a varmaktadır. Diyet lazer makinaları, cihazları henüz geliştirme safhasının başlangıcında sayılırlar. Diyet lazer makinaları kompakt küçük boyutlu yapıları ve kolay taşınabilirlikleri ve yüksek verimlilikleri, düşük maliyetleri nedeniyle geleceğin lazer makinaları olarak değerlendirilmektedirler. Günümüzde  $100 \text{ kW}$  üzeri diyet lazerler bulunmaktadır. Diyet lazer makinalarında güç ve verim artarken odak noktasının çapı artarak enerji yoğunluğu azalmaktadır. [1] Kaynağının, bağlantılarının kalitesini belirleyen işlem parametrelerin, faktörlerin sayısı hayli fazladır. Lazer işlem parametreleri; lazer parametreleri, makine parametreleri parça parametreleri, malzeme parametreleri olarak dört gruba ayrılır, Tablo 1. Lazer parametrelerine ait önemli büyüklükler, sembol ve birimleri ile birlikte; Lazer maksimal çıkış gücü,  $P$  [kW], Nominal lazer gücü;  $P$  [kW], Lazer dalga boyu;  $\lambda$  [ $\mu\text{m}$ ] veya [nm] Lazer güç yoğunluğu;  $E$  [ $\text{W}/\text{cm}^2$ ] veya  $E$  [ $\text{kW}/\text{mm}^2$ ], [1, 8] Pulsu, (atımlı) lazerde: Puls tepe enerjisi; [Joule], Puls süresi; [ms], Puls frekansı, Puls formu, Işın kalitesi BPP [mmxmrad], Lazer odak noktasının normal dağılımını ve netliğini gösteren lazer Modu, ( $\text{TEM}_{00}$ ) ( $M^2$ ), Odak noktasının parçadaki pozisyonu (üzerinde altında üstünde) ve ışın demetin eğimi. İşlem hızı  $v_k$  [m/dak], işlem gazları, koruyucu, kesme gazları ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ , Ar, He, Ar&He, Ar& $\text{CO}_2$  ...gibi), Lazer polarizasyonu, İşlem gazların debileri, basınçları, saflıkları, diğer önemli parametrelerdir. Parametrelerin seçimleri değerleri işlem yöntemine göre farklılıklar göstermektedir.

Tablo 1. Lazer makine ve işlem parametreleri

Grup	LAZER KAYNAK PARAMETRELERİ
Lazer Parametreleri	Lazer tipi (CW Lazer,  , Pulsu (atımlı) lazer, Maksimal Lazer gücü, Nominal lazer gücü, Puls süresi, Puls frekansı, Puls enerjisi, Maksimal enerji yoğunluğu, Puls formu, Lazer dalga boyu, Lazer ışın kalitesi
Makina Parametreleri	Lazer demeti iletimi, (Fiber kablo, Ayna sistemi), Odak noktası çapı ve uzunluğu, Odak noktasının netliği, Odak noktasının pozisyonu, İşlem gazları (Koruyucu gaz), İşlem hızı (Kaynak hızı), Lazer pençeri, ...
Parça Parametreleri	Birleştirme tipi (alın, köşe, bindirme..) Parça boyutları (kalınlık), Kaynak pozisyonu (ü, w, s, f. – kaynağı), Kaynak ağızı, Parça yüzey durumu, Kaplama tipi ve kalınlığı,...
Malzeme Parametreleri	Malzemenin kimyasal yapısı (alaşım elementleri), Kaynak kabiliyeti, Aynı özellikteki malzemelerin birbiri ile kaynağı, Farklı özelliklere sahip malzemelerin karmaşık kaynağı, Malzemenin fiziksel özellikleri, (Isıl iletkenlik, Absorpsiyon, Yansıtma Malzemenin yoğunluğu,) İyçyapı,

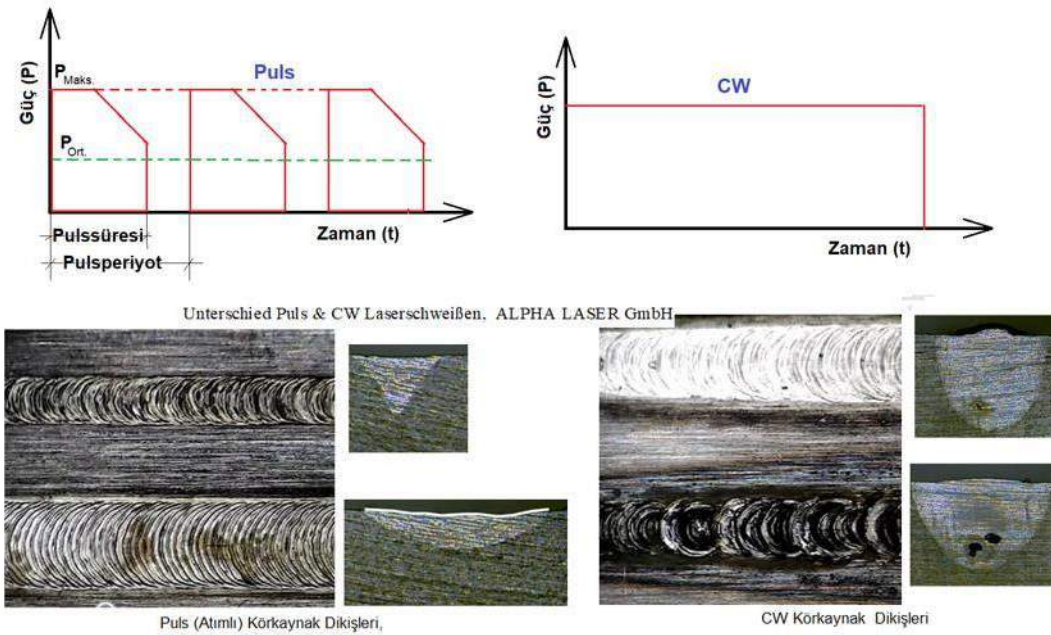
Lazer üretim yöntemleri ile işlenen parçaların yüzeyleri üzerinde odak noktasının pozisyonu önemli parametrelerden biridir. Yüzeyin üzerinde veya birkaç milim üstünde ve sanal olarak malzemenin içinde olacak şekilde odak noktasının pozisyonu ayarlanabilir. Odak noktası ısı Enerjinin büyük kısmı malzeme tarafından

emilir bir kısmı da malzeme dışına yansıtılır. Efektif olarak kullanılan lazer odak noktasındaki ısı enerji yoğunluk oranı, işlem ve lazer parametrelerine bağlı olarak değişir. Odaklanmış lazer ışının enerji miktarına göre malzemelerin işlenmesinde genelde üç yöntem: Isıtma, Ergitme ve Buharlaştırma kullanılmaktadır. [2]

### 3. ATIMLI LAZER KAYNAK YÖNTEMİ, KAYNAKLI NUMUNELER

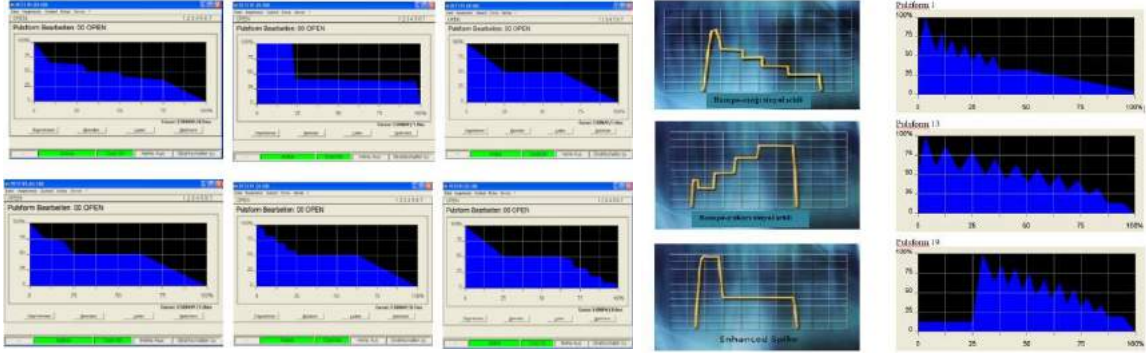
Lazer makinelerinin sürekli kesikli ve kesiksiz CW ve darbeli (atımlı) çalışma tipleri bulunmaktadır, Şekil 2 Atımlı, (darbeli, puls, impuls) lazer kör kaynak dikişleri ile CW lazer kör kaynak dikişleri arasındaki fark görsel olarak Şekil 2 de görülmektedir. Atımlı lazer kaynak yönteminde dikişlerin düzgün pürüzsüz olması yanında parametre seçimleri ile nüfuziyetin geometrisi isteğe göre şekillendirilmektedir.

CW lazer kaynak yönteminde koruyucu gazlı ve gazsız çekilen kör kaynak dikişlerinde belirgin farklar ortaya çıkmaktadır. Pürüzsüzlük yanında makro yapılarında gaz boşlukların oluşması ve sürekli kaynak eriyiğinin yüksek ısı nedeniyle kaynak malzeme özelliklerinin olumsuz yönde değişimi söz konusu olmaktadır. Koruyucu gazlı kaynak dikişlerin genişliği daha büyük olmaktadır. Her iki pulslu lazer kör kaynak in dikişleri yüzeyleri makine tiplerinde malzemeye aktarılan enerji dozajı puls parametreleri ile kontrol edilmektedir. Bu nedenle sorunlu malzemelerin kaynağında ve farklı özellikteki malzemelerin işlenmesinde atımlı lazer kaynak yöntemi tercih edilmektedirler. [6] Çok sayıdaki parametrelerin dikkate alınması ve atımlı lazer kaynak makinelerin pahalı olması nedeni ile kullanımları sınırlı kalmaktadır. Şekil 1- I 'de Pulslu, (Atımlı) Lazer kaynak dikişli numunelerin hazırlandığı Berlin Teknik Üniversitesi, Fraunhofer Enstitüsü Lazer Kaynak laboratuvarında ARGE amaçlı lazer kaynak makinesi, bilgisayar destekli üç boyutlu hareketli kaynak tezgâhı ile görülmektedir. Bochum Ruhr Üniversitesinde Lazer laboratuvarında atımlı lazer kaynak makinesi Şekil 1 –II de yer almaktadır. Yürütülen bir projede kullanılan puls form tipleri aynı şekil üzerinde yer almaktadır. Pulsform tipleri lazer makinesine göre değişmektedir. Pulsform menüsünden seçildiği gibi, puls formuna dışarıdan değişiklikler yapılabilmektedir, Şekil 3. Atımlı lazer kaynak yönteminde pulsform örnekleri görülmektedir.



Şekil 2, Lazer puls (atımlı) kaynak yöntemi ile lazer CW kaynak yöntemlerinin, koruyucu gazlı ile gazsız uygulamanın farklılıkları



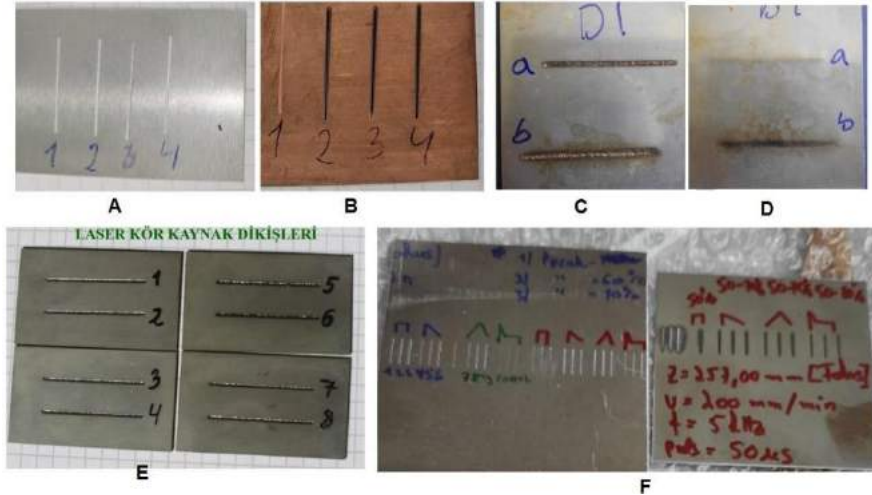


Şekil 3. Lazer kaynak dikişli numunelerin hazırlandığı laboratuvarlarda atımlı form örnekleri

Türkiye’de atımlı lazer kaynak numunelerini gerçekleştirilemeyince, Atımlı Lazer kaynak numuneleri farklı zamanlarda Almanya’da iki üniversitenin lazer kaynak laboratuvarlarında hazırlanmıştır. Atımlı lazer kaynağında deneyim kazanmak için atımlı lazer kör kaynak dikişli numunelerle çalışmalara başlanılmıştır. Farklı parametreler seçilmiştir. Daha sonra aynı malzemeli ve farklı malzemeli bindirme kaynak bağlantıları denenmiştir. Alın atımlı lazer kaynak bağlantıları ile numunelerin hazırlanması tamamlanmıştır. Çok sayıdaki numunelerden örnekler Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6 yer almaktadır.

#### 4. ATIMLI LAZER KAYNAK DİKİŞLİ FARKLI MALZEMELERİN BİRİBİRLERİNE KARMALI BAĞLANTILARIN İNCELENMESİ

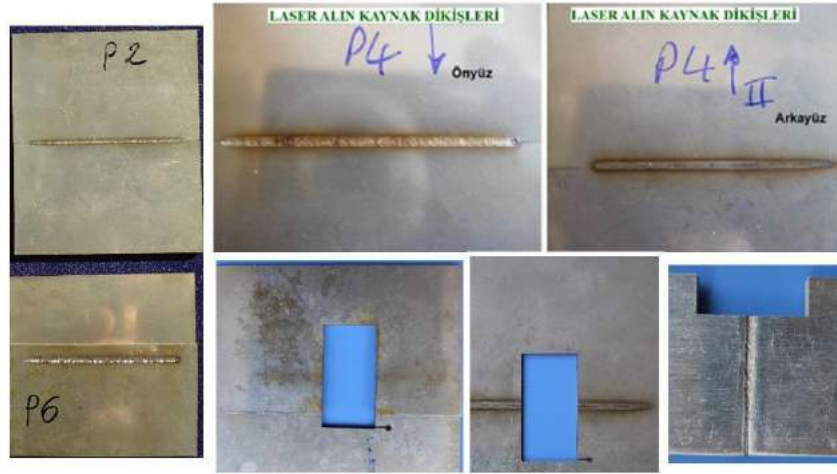
Atımlı lazer kaynaklı çok sayıdaki numunelerin bir kısmı kör kaynak dikişli olup, deneyim kazanmak ve uygun parametrelerin seçimi için kullanılmıştır. Bu numunelerin kaynak dikişleri görsel olarak değerlendirilmiştir. Kaynak dikişlerin üst ve alt yüzeylerin sürekliliği, düzensizlikleri, pullanma yüzey pürüzlülüğü, genişlik, malzeme kaybı, çatlak, gaz boşluğu, olasılıkları büyüteç kullanılarak kontrol edilmiştir. (Düzgün olan güzel görülen, iyi ve sağlamdır. Öngörüsü, sözü teknik yapılarda, kaynak bağlantılarında da geçerlidir.) Çelik, alüminyum ve bakır malzemeleri üzerinde farklı parametrelerle kör kaynak dikişleri çekilmiştir. Çok sayıdaki atımlı lazer kör kaynak dikişlerinden örnekler Şekil 4 görülmektedir.



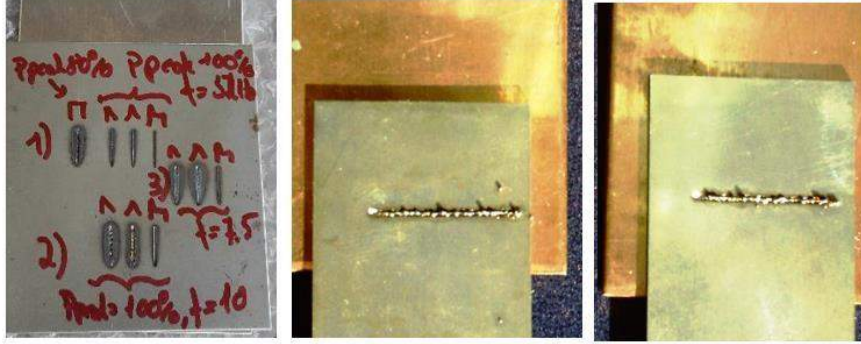
Şekil 4, Atımlı lazer kör kaynak dikişlerine örnek görüntüler

Atımlı form parametresinin lazer kaynak dikişlerine olan etkilerin araştırılmasında, İşlem parametrelerin çok fazla olması ve birbiri ile ilişkili bağlantılı olmaları atımlı lazer kaynağının başlıca olumsuzluklarından. Örneğin, malzemeye aktarılan gerekli enerji dozajı puls formu; puls enerji, puls gücü, puls ortalama gücü, puls frekansı, yavaşlama soğutma hızı ve eğrisi, duraklama süresi gibi değerler tarafından belirlenmektedir. Tez başlığından basit olarak öngörülen çalışma, aslında hayli kapsamlı olduğu anlaşılıyor, Her aşamasından sonra bitti derken ortaya çıkan belirsizliklerle yeni numunelerle araştırmalarla devam ediliyor.





Şekil 5, Atımlı lazer bindirme ve alın kaynak dikişleri ve numune kesitleri



Şekil 6 Farklı Özellikteki Malzemelerin atımlı lazer kaynaklı bağlantılarına örnek görüntüler.

Çok sayıda atımlı lazer kaynak dikişlerinden, bağlantılarından çıkan önemli sonuç, uygun parametre Kombinasyonları ile kabul edilebilir dayanıklıktan, kalitede bağlantılar mümkündür. Karma malzemeli bağlantılar içinde bu sonuç geçerlidir. Tez çalışmasının detaylı kapsamlı sonuçları tez kitabında yayınlanacaktır.

## 5. SONUÇ

Atımlı lazer kaynağında puls formun kaynak dikişli bağlantılarına olan etkilerin araştırılmasında varılan başlıca sonuçlar:

Atımlı lazer kaynak makinasına bağlı deney düzeneğinde, merdiven yukarı, (treppen auf) ve merdiven aşağı, (Treppen unter) şeklinde iki tip tercih edilmiştir. Burada merdiven yüksekliğini, eğimini, basamak sayılarını, çıkış, iniş ve bekleme sürelerini belirleyerek gerekli enerji ısı dozajları deneme yanılma yoluyla tespit edilmeye çalışılmıştır.

Farklı özelliklere sahip malzemelerin karmalı atımlı lazer kaynak bağlantılarında, Treppenunter yani, merdiven aşağı atım formun daha uygun olduğu edinilen tecrübeyle tespit edilmiştir. Puls formu ile aynı ve karma malzemeli bindirme, alın atımlı lazer kaynak dikişli bağlantılar gerçekleştirilmiştir.

Farklı atımlı lazer makinalarından elde edilen sonuçların uyumsuzluğu üzerinde duruluyor. Nedeni hakkında açıklama, belirsizlikler oluyor!

## KAYNAKLAR

- [1]. H. Özden, 'Lazer Kaynağı' Yayınlanmamış Doktora Dersi Slaytları, EÜ, Fen Bilim. Enstitüsü. 2018
- [2]. N.N. IPG, Photonics, "Products, Application, High Power Welding With Fiber lasers"  
<http://www.ipgphotonics.com/> (Erişim tarihi: 8.04.2015)
- [3]. A. A. Eryavuz, "Havacılık ve Uzay Sektöründe Uçak ve Helikopter Tasarımlarında Yüksek Dayanımlı

- Alüminyum Alaşımli Metallerin Lazer Kaynağının İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, EÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.
- [4]. Özden, A. A., Eryavuz, 2016, Savunma sanayinde, uçak ve havacılık sektöründe lazer kaynak yöntemlerinin değerlendirilmesi, *Engineer & The Machinery Magazine*, 57(673): 54-63 s.
- [5]. Optech Consulting, Laser Market Data- optech-consulting.com, intern. Erişim. 9.2021
- [6]. Unterschied Puls & CW Laserschweißen, ALPHA LASER GmbH
- [7]. Ramin Hajavifard, ‘Fotovoltaik Elementlerin Üretiminde Alüminyum İnce Levhaların Lazer Puls Nokta Kaynağında Parametre Araştırması’, EÜ, Yüksek Lisans Tezi, 29.9.2011
- [8]. Niyazi Çavuşoğlu, ‘DC04 Kalite Çelik ile 6061-T6 Alüminyum Alaşımı Saclarının Lazer Bindirme Kaynağında, Kaynak Parametrelerinin Kaynaklı Birleştirmenin Mekanik ve Metalurjik Özellikleri Üzerine Etkisi’, EÜ, Doktora Tezi, 07.12.2011
- [9]. Atakan Danişmend, ‘Farklı Özelliklere Sahip Malzemelerin Birbirlerine Lazer Atılımlı Kaynağında. Parametrelerin Bağlantının Mekanik Teknolojik Özelliklerine Olan Etkilerinin Araştırılması’, EÜ, Doktora Tezi, Eylül 2023, Henüz yayınlanmamış.

## Ark Kaynak Yöntemleri ile Birleştirilen X1CrNiMoCuN20-18-7 (SMO254)

### Paslanmaz Çeliğin Özellikleri

Cevat Cüneyt SATIROĞLU<sup>1</sup>, Emel TABAN<sup>2,3\*</sup>

- 1) Beşiktaş Tersane A.Ş. Kalite Kontrol Departmanı, Yalova
  - 2) Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü 41001, Kocaeli
  - 3) Kocaeli Üniversitesi Kaynak Tekn. Araştırma, Eğitim ve Uygulama Merkezi, 41001, Kocaeli
- \* Sorumlu yazar: Tel: +90-262-303-34-43, e-posta: [emelt@kocaeli.edu.tr](mailto:emelt@kocaeli.edu.tr) , [emel.taban@yahoo.com](mailto:emel.taban@yahoo.com)

### ÖZET

Dünya ticaret hacminin yaklaşık olarak %95'i deniz yolu taşımacılığıyla yapılmaktadır. Bu nedenle teknik ve ekonomik açıdan kaliteli ve uzun ömürlü gemilerin yapılması gerekmektedir. Bu bakımdan araştırma geliştirme çalışmaları gemi üreticilerinin uluslararası rekabeti için oldukça önemlidir. Paslanmaz çeliklerin gemi inşa sanayinde kullanımı çok zor ve riskli bir durumdur. Ancak bazı durumlarda avantajları açısından kullanımları zorunludur. Dizel yakıt kullanımı sonucu atmosfere salınan sülfür gazı hakkında, Uluslararası Denizcilik Organizasyonu (IMO) tarafından mevzuat yayınlanmıştır. Bu mevzuata göre düşük sülfür oranına sahip yakıt kullanımı veya gemilerde desülfürizasyon sistemleri ile sülfür gazının arıtılarak atmosfere salınması zorunlu hale getirilmiştir. Desülfürizasyon sistemlerinde korozyona dirençli malzemeler kullanılmasının gerekliliğine çalışmalar sonucunda ulaşılmış ve en uygun seçenek olarak süper östenitik paslanmaz çelikler tercih edilmiştir. Paslanmaz çeliklerin seçiminde korozyon direnci ve mekanik özellikler en önemli seçim kriterlerini oluşturmaktadır. Bu çalışmada, SMO254 paslanmaz çelik malzemenin özlü tel ark kaynak yöntemi (FCAW) ve TIG kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri karşılaştırılacaktır. Kaynaklı bağlantının çekme, mikrosertlik, mikroyapısal özellikler ve faz miktarlarının değişimine etkileri incelenecektir.

**Anahtar kelimeler:** TIG, GTAW, FCAW, IMO, desülfürizasyon, mikroyapı, korozyon

## **Properties of Arc Welded X1CrNiMoCuN20-18-7 (SMO254) Stainless Steel**

### **ABSTRACT**

Shipbuilding industry is increasing its importance day by day. Because approximately 95% of the world trade volume is carried out by sea transport. For this reason, it is necessary to build technically and economically high quality and long-lasting ships. Developments in technological fields are important for ship production. In this respect, the production of quality and economical ships and research and development studies are very important in terms of international competition of shipbuilders. The use of stainless steels in the shipbuilding industry is a very difficult and risky situation. However, in some cases, their use is mandatory in terms of their advantages. Regulation on sulphur gas released into the atmosphere as a result of the use of diesel fuel has been published by the International Maritime Organisation (IMO). According to this regulation, it has been made compulsory to use fuel with low sulphur content or to purify sulphur gas with desulphurisation systems on ships and release it to the atmosphere. The necessity of using corrosion resistant materials in desulphurisation systems was reached as a result of the studies and super austenitic stainless steels were preferred as the most suitable option. Corrosion resistance and mechanical properties are the most important selection criteria in the selection of stainless steels. In this study, the joining of SMO254 stainless steel material by flux cored wire arc welding (FCAW) and TIG welding methods will be compared. The effects of the welded joint on tensile, microhardness, microstructural properties and phase quantity changes will be investigated.

**Keywords:** TIG, GTAW, FCAW, IMO, desulphurisation, microstructure, corrosion.

## 1. Giriş

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), dizel motorlarla seyreden ve HFO yakıt kullanan tüm gemilerin atmosfere saldıkları sülfür miktarını sınırlandırmaları konusunda MARPOL 73/78-ANNEX VI mevzuatını yayınlamıştır. Bu mevzuat ile birlikte, gemilerin daha pahalı olan düşük sülfürlü yakıt kullanımını ve atmosfere atılan SO<sub>2</sub> gazı miktarını azaltmak için gemi bacasında bir gaz temizleme ekipmanı ile birlikte HFO kullanmaya devam etme alternatifleri bulunmaktadır. Bu da daha ekonomik bir yöntem olarak SO<sub>2</sub> gazı salınımını azaltacak gaz temizleyici ekipmanlara gerçek bir ihtiyaç duyulduğu anlamına gelmektedir. Gaz temizleyici sistem (Scrubber System) ile birlikte HFO yakıtındaki ortalama %2,7 sülfür içeriği %1,5-0,1 değerine düşürülmektedir. [1]. Metalik malzemelerin deniz suyu veya diğer asidik tuzlu su çözeltilerine karşı korozyon direnci konusunda hem laboratuvar testleri hem de saha koşullarında uzun süreli korozyona maruz kalma testleri yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda, baca gazı desülfürizasyon sistemi üretimi için en uygun malzeme olarak titanyum veya Ni alaşımlarının olduğu görülmüştür. Ancak bu malzemelerin maliyetleri yüksek ve kaynaklanabilirliği zordur ve bu bakımdan Paslanmaz Çeliklerin (SS) daha uygun olacağı düşünülmüştür. Bu alanda, temel bir seçim kriteri olarak, Korozyon Direnci Eşdeğeri (PRE = % Cr + % 3,3 Mo + % 16 N olarak tanımlanır) dikkate alınmıştır. Isıdan etkilenen bölgelerin korozyon direncine özellikle dikkat çekilmiştir. Süper östenitik paslanmaz çeliklerin (SASS, PRE > 40, Mo içeriği > %6), kaynaklanabilirlik açısından uygun bir malzeme olacağı gösterilmiştir. Yüksek sıcaklıktaki (380C) mekanik direnç de dikkate alınmış ve dubleks alaşımlardan ziyade süper östenitik alaşımlar seçilmiştir [2-7].

SMO 254, geleneksel östenitik paslanmaz çelikler olan 304, 316 ve 347'den daha yüksek miktarda Cr, Ni, Mo içeren tam östenitik paslanmaz çeliktir. İçine eklenen nitrojen 254'ün korozyon direncini artırır. İyi darbe tokluğuna ve gerilmeli korozyonu çatlaması ile aralık korozyonuna karşı mükemmel dirence sahiptir. Bu çelik, mükemmel işlenebilirliğe sahip olan 316L kalite östenitik paslanmaz çeliğe göre hidrojen gevrekleşmesine karşı daha yüksek direnç göstermektedir. Ayrıca, SMO 254 gerinim sırasında belirgin östenit kararlılığı gösterebilir [8-12]. SMO 254, çukurcuk korozyonu ve çatlak korozyonuna karşı mükemmel direnci nedeniyle tuzdan arındırma, petrokimya, enerji, deniz suyu boruları, baca gazı desülfürizasyonu, atık yakma tesisleri ve ilaç fabrikası alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır, ayrıca deniz suyu korozyonuna ve biyolojik kirlenmenin neden olduğu korozyona karşı mükemmel direnç gösterirler [8-16].

TIG (GTAW) kaynak yöntemi, rafineri endüstrisi, güç santralleri, gıda endüstrisi gibi alanlarda paslanmaz çelik boruların yüksek kaliteli kaynaklı bağlantılarının oluşturulması için yaygınlaştırmaktadır [17]. Kaynak kalitesinde istenilen değerlere ulaşılabilmesi için tüm kaynak yöntemlerinde olduğu gibi TIG kaynak yönteminde de yapılacak birleştirme işlemine en uygun kaynak parametrelerinin seçimi ve doğru şekilde uygulanması oldukça önemlidir. Kaynak işleminde uygulanan parametreler kaynak dikiş geometrisine ve mekanik özelliklerinin istenilen düzeye ulaşmasında etkilidir [18]. Son zamanlarda yüksek yığılma kabiliyeti, otomasyona uygunluğu, her pozisyonda kaynak yapabilme özelliği, diğer kaynak yöntemlerine göre kolay ve uygulanabilir olması, yüksek mekanik özelliklere sahip kaynak dikişlerinin yapılabilmesi ve kalın kesitli malzemelerin birleştirilmesinde ekonomik olması gibi birçok avantajları nedeniyle özlü tel ark kaynak yönteminin (FCAW) kullanımı giderek artmaktadır. Özlü tel ark kaynak yönteminin özellikle otomotiv, makine ve gemi imalat sektöründe kullanımı %75-80 oranlarında olduğu belirtilmektedir. Özlü tel ark kaynak yöntemi; örtülü elektrod ile ark kaynağı, gazaltı kaynağı ve tozaltı kaynak yöntemlerinin kombinasyonudur. Kaynak esnasında ilave metalin öz kısmı cüruf haline geçerek banyo üzerinde koruyucu ortam oluşturabilmektedir. Ayrıca sıçrama kayıpları azalmakta ve derin nüfuziyetli birleştirmeler elde edilebilmektedir [19-23].

## 2. Malzemeler ve Deneysel Çalışmalar

### 2.1. Malzemeler

Tablo 1’de, 8,56 mm kalınlık ve 4” (114,3 mm) çapındaki SMO254 (1.4547 / UNS S31254) paslanmaz çelik boru malzemenin ve 10 mm kalınlığındaki sac malzemenin kimyasal bileşim ve mekanik özellikleri verilmektedir.

**Tablo 1. SMO254 (X1CrNiMoCuN20-18-7) paslanmaz çeliğinin kimyasal bileşim ve mekanik özellikleri**

Malzeme türü	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	N	P	S	Fe	
SMO254 (Boru)	0,012	0,23	0,74	20,00	6,03	17,85	0,70	0,2420	0,021	0,0005	Kalan	
SMO254 (Sac)	0,016	0,42	0,58	20,2	6,50	18,5	0,73	0,23	0,027	0,001	Kalan	
Mekanik özellikler												
Malzeme türü	Akma mukavemeti ( $R_{p0.2}$ ) MPa				Max. Çekme Mukavemeti ( $R_m$ ) MPa				% Uzama			
SMO254 (Boru)	350				714				53			
SMO254 (Sac)	352				712				56			



## 2.2. Kaynaklı Bağlantıların Oluşturulması

TIG (GTAW) kaynaklı bağlantılar, SMO254 paslanmaz çelik borular için oluşturulmuştur. Kök paso ve dolgu pasolar için koruma gazı olarak Ar gazı kullanılan TIG kaynaklı bağlantı 03A olarak adlandırılmıştır. Kök pasoya ilaveten 9 dolgu paso kullanılmıştır.

FCAW kaynaklı bağlantılar, SMO254 paslanmaz çelik sac malzemeler için oluşturulmuştur. Koruma gazı olarak M21 (Ar+%15-25 CO<sub>2</sub>) gazı kullanılan kaynaklı bağlantılar 03M ve 04M olarak adlandırılmıştır. Kök pasoya ilaveten 03M bağlantısında 2 dolgu paso, 04M bağlantısında 3 dolgu paso kullanılmıştır.

Ek kaynak metali olarak TIG kaynaklı bağlantılarda 2,4 mm çapında ERNiCrMo-3 ve FCAW kaynaklı bağlantılarda ENiCrMo-3 T1-4 teller kullanılmıştır. Tellerin kimyasal bileşimleri Tablo 2’de verilmektedir.

**Tablo 2. ERNiCrMo-3 ve ENiCrMo-3 T1-4 tellerin kimyasal bileşimi**

Ek kaynak metali türü	Kimyasal bileşim (wt.%)						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Diğer
ERNiCrMo-3 (TIG)	0.02	0.06	0.04	22.7	64.8	8.6	+Nb, +Ta
ENiCrMo-3 T1-4 (FCAW)	0.03	0.4	0.4	21.5	Balance	9.0	+Nb

Kaynağa başlamadan önce oksijen analiz cihazı ile oksijen miktarı ölçülmüş ve oksijen miktarı 10 ppm’in altındayken kaynağa başlanmıştır. Dolgu pasoları için Argon koruyucu gazı 8 l/dk debi ile, karışım koruyucu gazı ise 15/dk ile beslenmiştir. Pasolararası sıcaklık 100-150 derece arasında tutulmuştur. Kaynak parametreleri Tablo 3’te verilmektedir.

**Tablo 3. SMO254 TIG ve FCAW kaynaklı bağlantılar için kaynak parametreleri**

Kaynaklı boru kodu	Koruma gazı türü, gaz debisi	Kaynak parametreleri (V/A)	Kaynak hızı (mm/s)	Toplam ısı girdisi (kJ/mm)
03A	100% Argon, 8 l/dk	8.9-9.3 / 69-83	0.67-0.72	0,75
03M	Ar + % 15-25 CO <sub>2</sub> 15 l/dk	25.7-26.5 / 158-165	1.34-1.67	2.35
04M	Ar + % 15-25 CO <sub>2</sub> 15 l/dk	27-28 / 169-170	1.37-1.72	2.49

### **2.3. Deneysel Çalışmalar**

Oluşturulan tüm kaynaklı bağlantıların mikroyapı incelemeleri için metalografi numuneleri hazırlanmıştır. NaOH ile elektrolitik olarak ve Lichteneggars ayırıcı ile kimyasal olarak dağlanmıştır.

10kg yük altında Vickers sertlik ölçümleri yapılmıştır. TS EN 3157 / EN ISO 3651-2 ve ASTM A262 Practice E standartlarına göre taneler arası korozyon ve çukurcuk korozyon testleri gerçekleştirilmiştir. 15 saat boyunca kaynamakta olan sülfürik asit ve bakır sülfat solüsyonunda uygulanan tanelerarası korozyon testinde eğme deneyleri yapılmıştır. Çukurcuk testi deneylerinde 50°C’de 72 saat boyunca ferrik klorür solüsyonunda, ilgili standarda uygun olarak testler gerçekleştirilmiş, ağırlık kayıpları ölçülmüştür.

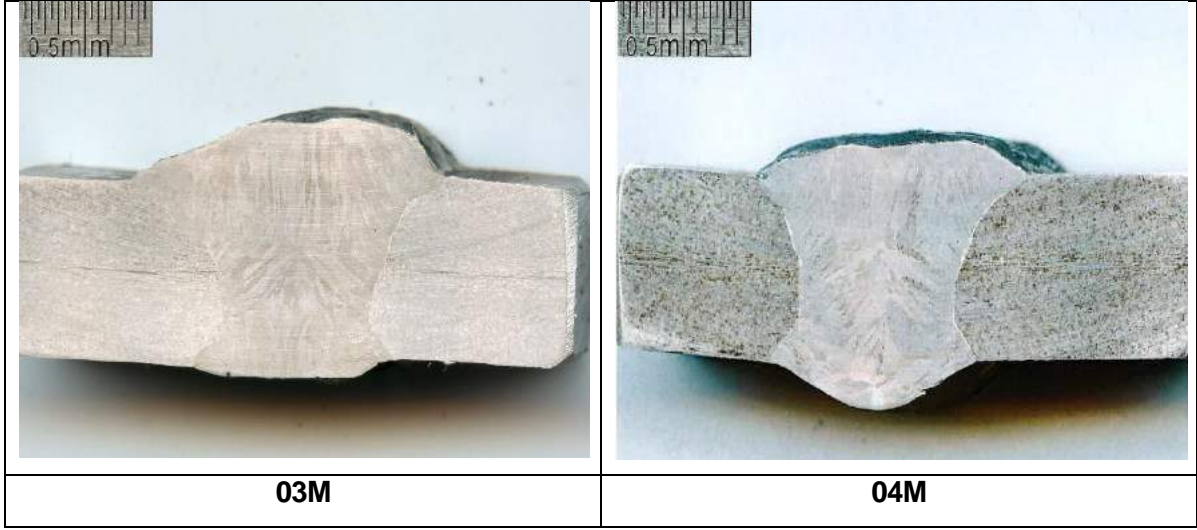
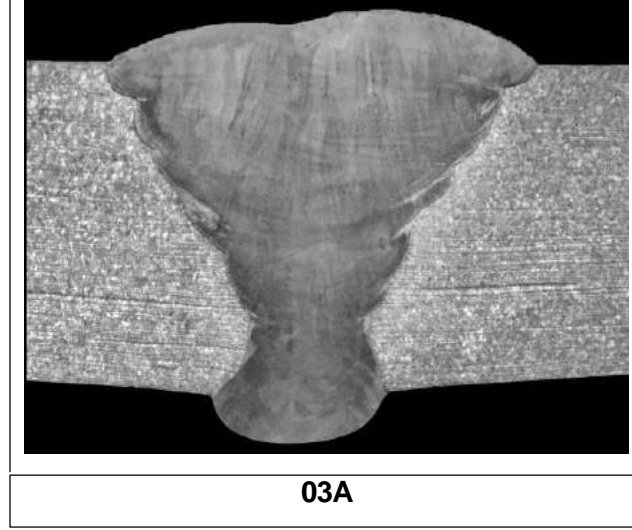
Mekanik özelliklerin belirlenmesi için API 1104 Standardına göre kök ve yüz eğme testleri gerçekleştirilmiştir.

## **3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışmalar**

### **3.1. Makroyapılar**

TIG ve FCAW alın kaynaklı bağlantıların makro görüntüleri hatasız tam nüfuziyetli bir bağlantı elde edilebileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, gama ışını radyografisinden, üç kaynaklı bağlantıda da kaynak metalinde herhangi bir kaynak hatası tespit edilmemiştir. Isı girdisi hesaplamalarına göre TIG kaynaklı bağlantıda daha az ısı girdisi olduğu görülmüştür.

Kaynaklı bağlantıların makro yapıları incelendiğinde (Şekil 1) mikro çatlak oluşmadığı görülmüştür.

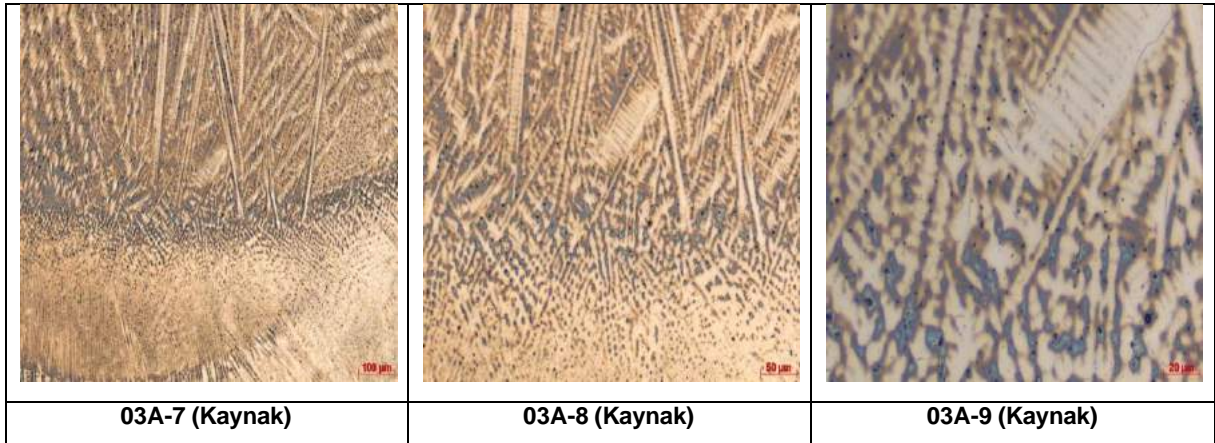
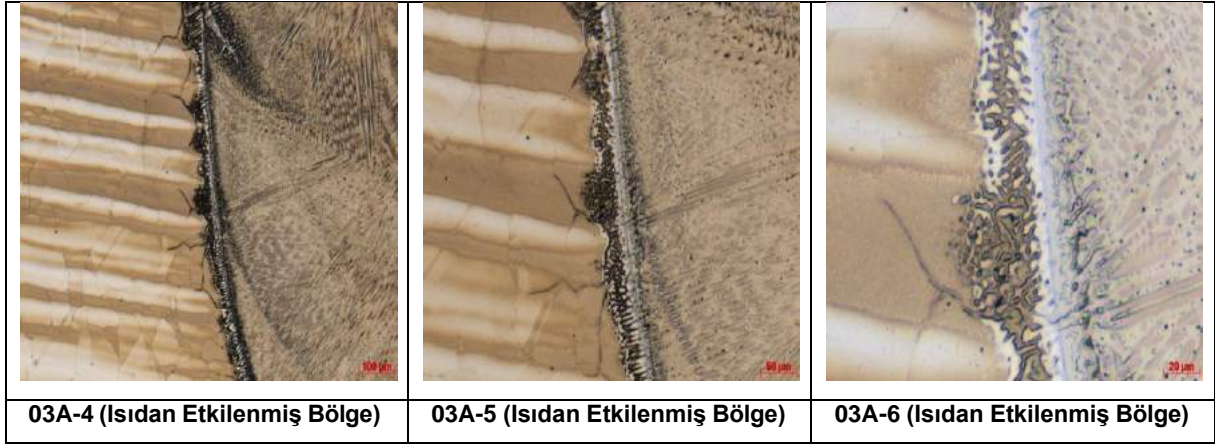
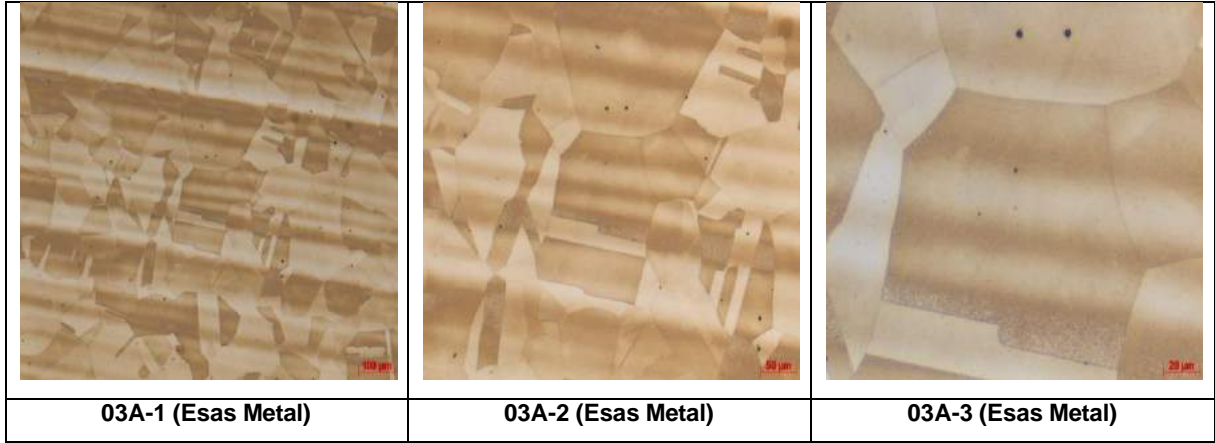


**Şekil 1. SMO254 TIG ve FCAW kaynaklı bağlantılar için makroyapılar**

### **3.2. Mikroyapılar**

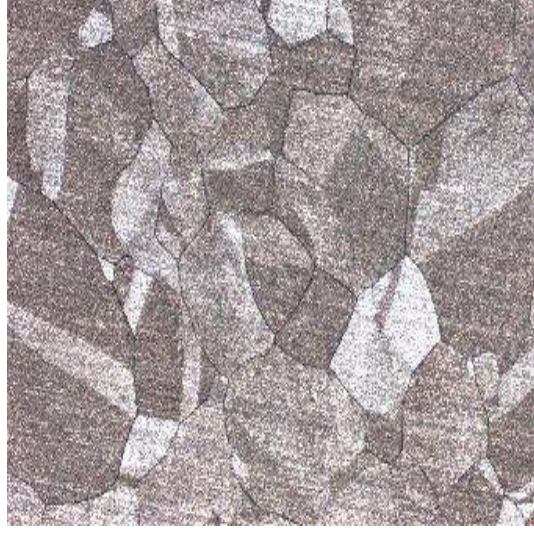
Esas metal mikroyapısı tam östenitik bir tane yapısı olarak görülmektedir. (Şekil 2)

TIG kaynaklı bağlantıda, ısıdan etkilenmiş bölgeye yakın kaynak bölgesinde, değişime uğramamış bir bölge ve kalınlaşmış tane sınırı gözlemlenmiştir. Bu da kaynak dolgu malzemesinin değişen kimyasal bileşiminden olduğu söylenebilir. FCAW kaynaklı bağlantılarda, mikroyapı incelendiğinde ince eş eksenli dendritlerin oluştuğu, bu durumun daha az ayrışmaya neden olarak metalurjik özelliklerin iyileştirilmesine ve kaynak metalinde sertliğin artmasına sebep olduğu söylenebilir.



**Şekil 2. SMO254 TIG kaynaklı bağlantılar için mikroyapılar**





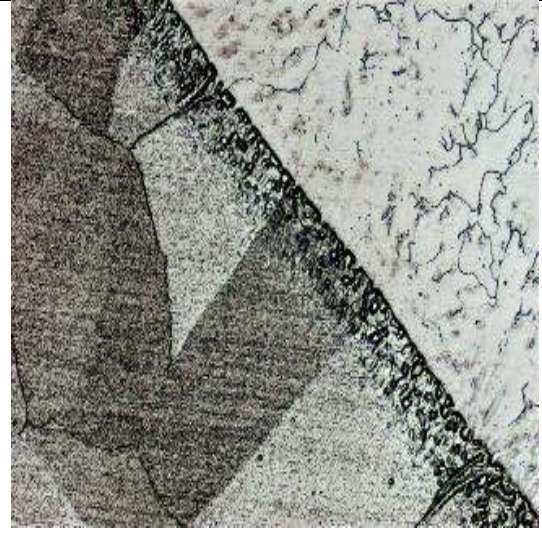
**03M-1 (Esas Metal)**



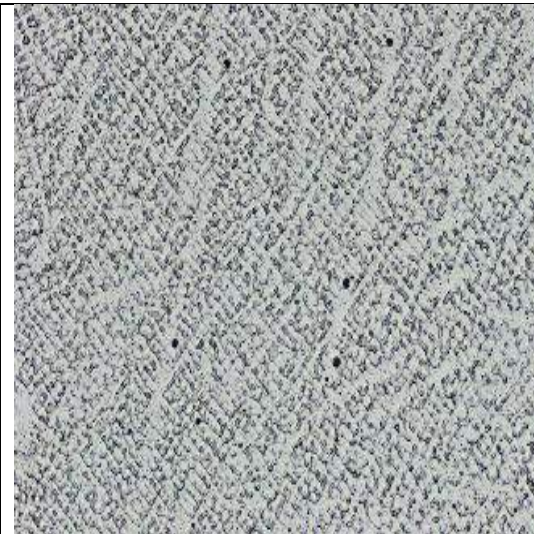
**03M-2 (Esas Metal)**



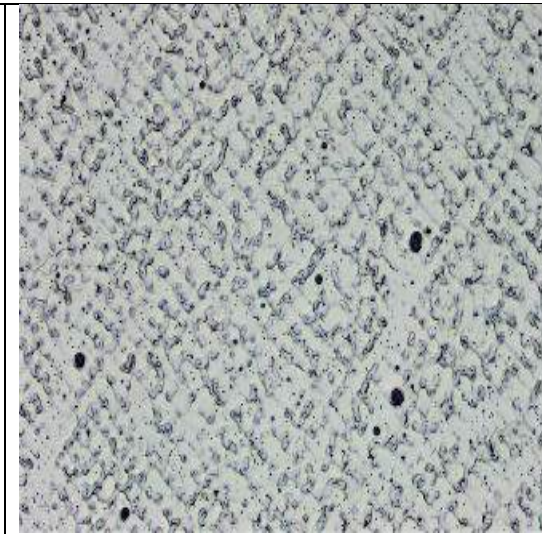
**03M-3 (Isıdan Etkilenmiş Bölge)**



**03M-4 (Isıdan Etkilenmiş Bölge)**

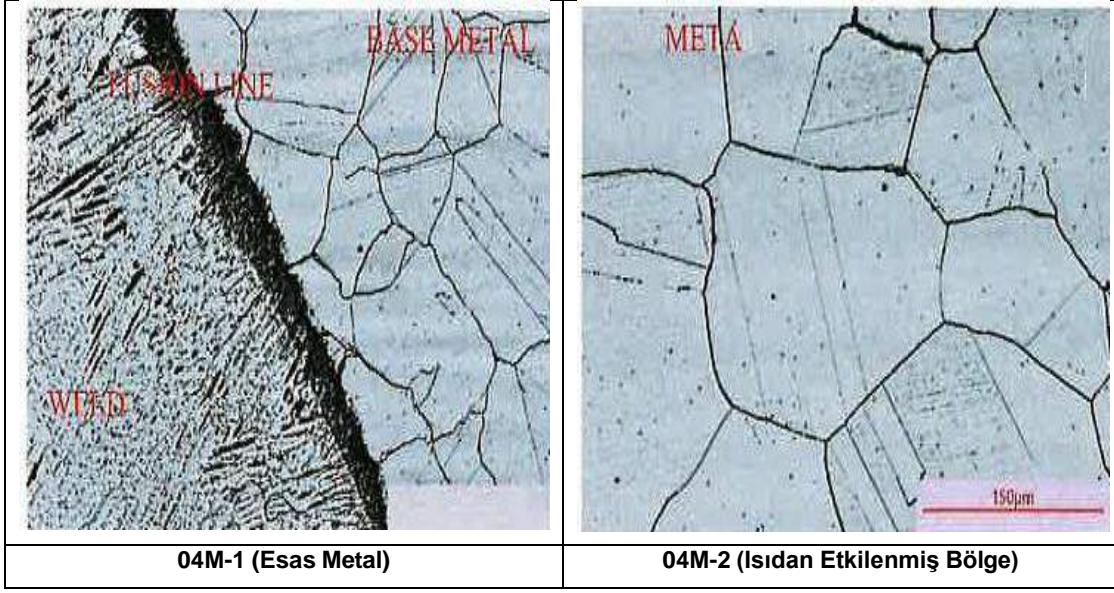


**03M-5 (Kaynak)**



**03M-6 (Kaynak)**





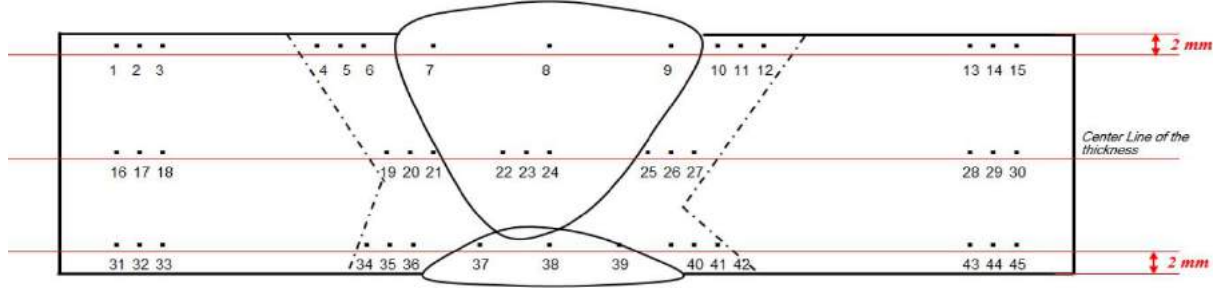
Şekil 3. SMO254 FCAW kaynaklı bağlantılar için mikroyapılar

### 3.3. Sertlik değerleri

TIG kaynak yönteminde, kaynak metalindeki maksimum sertlik değeri (Tablo 5) (338 HV), ısıdan etkilenmiş bölge (329 HV) ve esas metaldeki (278 HV) değerden nispeten daha yüksektir. Çok pasolu kaynak işlemi nedeniyle hızlı katılaşma ve yeniden ısıtma eylemleri nedeniyle kaynak bölgesindeki daha ince mikroyapı, kaynak bölgesindeki artan sertliğe atfedilebilir. Kaynak ortasında östenitik hücresel yapıların ve kaynak arayüzünde östenitik tanelerin varlığı, sertlik değerinin kaynak merkezinden esas metale doğru kademeli olarak azalmasıyla ilişkilendirilebilir. FCAW kaynaklı bağlantılarına ait sertlik ölçümlerinde daha düşük sertlik değerleri ölçülmüştür.



**Tablo 5. SMO254 TIG ve FCAW kaynaklı bağlantıların sertlik ölçümleri.**



03-A			SERTLİK ÖLÇÜMLER (HV10)											
ESAS METAL			HAZ			KAYNAK METALİ			HAZ			ESAS METAL		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
256	260	278	272	264	269	332	292	338	245	251	260	247	263	266
<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
229	233	235	283	273	280	315	305	315	257	269	278	245	244	235
<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>45</b>
242	251	264	329	326	293	336	292	329	281	291	315	245	233	253

03-M			SERTLİK ÖLÇÜMLER (HV10)											
ESAS METAL			HAZ			KAYNAK METALİ			HAZ			ESAS METAL		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
219	217	230	235	232	244	237	253	219	210	217	230	209	204	203
<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
271	260	284	308	297	280	228	233	260	251	239	260	278	293	288
<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>45</b>
312	302	313	320	296	309	278	244	271	276	279	316	280	287	283

04-M			SERTLİK ÖLÇÜMLER (HV10)											
ESAS METAL			HAZ			KAYNAK METALİ			HAZ			ESAS METAL		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
180	175	186	186	183	186	203	214	197	184	182	189	182	180	184
<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
161	172	166	179	173	172	202	206	204	191	177	183	178	169	170
<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>45</b>
172	176	171	191	180	178	203	213	213	191	194	193	184	180	183

### 3.4. Çekme test sonuçları

Çekme mukavemeti 713 ile 732 MPa arasında değişmekte olup esas metalden daha yüksek değerler (overmatching) elde edilmiştir.

### 3.5. Eğme test sonuçları

SMO254 TIG ve FCAW kaynaklı bağlantılardan çıkarılan kök eğme ve yüz eğme test numunelerindeki kök eğme ve yüz eğme testleri sonucunda hiçbir hataya rastlanmamıştır.

## 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, SMO254 paslanmaz çelik malzeme özlü tel ark kaynak yöntemi (FCAW) ve TIG kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri karşılaştırılmıştır. Kaynaklı bağlantının çekme, mikrosertlik, mikroyapısal özellikler ve faz miktarlarının değişimine etkileri incelenmiştir.

- TIG ve FCAW alın kaynaklı bağlantıları hatasız ve tam nüfuziyetli bir bağlantı elde edilebileceğini ortaya koymaktadır. Kaynak metalinde mikro çatlak gibi herhangi bir kaynak hatası tespit edilmemiştir.
- FCAW kaynaklı bağlantılarında kaynak bölgesinde daha ince eş eksenli tanelerin oluşması nedeniyle TIG kaynaklı bağlantılara göre daha düşük sertlik değerleri ölçülmüştür. TIG kaynaklı bağlantı kaynak metalinde 338 HV 'lik daha yüksek bir sertlik değeri gözlemlenmiştir.
- Çekme testleri sonucunda, üç numuneye yapılan testlerde kopmalar SMO254 esas metali üzerinden gerçekleşmiştir. Akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve yüzde uzama değerleri ile eğme testi sonuçları bu sonuçları desteklemektedir.

## Teşekkür

Yazarlar, yardımlarından dolayı Beşiktaş Tersane A.Ş. Sn. İbrahim Aydın ve Sn. Halil Topuçar'a, İmkosan A.Ş. Sn. İnan Geçmen 'e teşekkürlerini sunar.

## Kaynakça

- [1] E. Aragon, J. Woillez, C. Perice, F. Tabaries, M. Sitz Corrosion resistant material selection for the manufacturing of marine diesel exhausts scrubbers. *Materials and Design* 30 (2009) 1548–1555. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.07.053>
- [2] Winston Revie R, editor, Uhlig's corrosion handbook. 2nd ed.
- [3] <<http://www2.sandvik.com/sandvik/0140/internet/se01598.nsf/>>.
- [4] Kovach CW. High Performance Stainless Steels. Nickel Development Institute. <<http://www.valve-world.net/pdf/11021.pdf>>.
- [5] Olsson J, Wasielewska W. Application and experience with a superaustenitic 7Mo stainless steel in hostile environments. *Mater Corros* 1997;48:791–8.
- [6] Malik A, Siddiqi N, Andijani I. Corrosion behaviour of some highly alloyed stainless steels in seawater. *Desalination* 1994;97:189–97.
- [7] Wallén B, Bergvist A. The Seawater Resistance of Superaustenitic 7Mo Stainless Steel. In: *Proceedings EUROCORR'97*. Norway: Trondheim; 1997 September.
- [8] Hill R, Perez AL. New steels and corrosion-resistant alloys. *Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies*. 2017. p. 613–26. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101105-8.00026-7>.
- [9] Khanna AS. 9 selection of materials for corrosion and materials in the oil and gas industries Vol. 3. 2016. p.197.
- [10] Rajala P, Bomberg M, Huttunen-Saarivirta E, Priha O, Tausa M, Carpén L. Influence of chlorination and choice of materials on fouling in cooling water system under brackish seawater conditions. *Materials* 2016;9(6):475.
- [11] Bingham RV, Nuttall D. EUROCORR 2017 in combination with the 20th international corrosion congress and the process safety congress 2017: corrosion control for safer living. Part 2. *Corros Eng Sci Technol* 2018;53(3):163–72. <https://doi.org/10.1080/1478422X.2018.1436054>.
- [12] Roshith P, Arivarasu M, Arivazhagan N, Srinivasan A, Phani Prabhakar K V. Investigations on induced residual stresses, mechanical and metallurgical properties of CO2 laser beam and pulse current gas tungsten arc welded SMO 254. 2019. *Journal of Manufacturing Processes*. p. 81-90. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.05.044>
- [13] Arab ST, Abdulsalam MI, Alghamdi HM. Susceptibility of 254 SMO alloys to crevice corrosion in NaCl solution. *Arab J Sci Eng* 2014;39(7):5405–12.
- [14] Hao YS, Liu WC, Liu ZY. Microstructure evolution and strain-dependent constitutive modeling to predict the flow behavior of 20Cr–24Ni–6Mo super-austenitic stainless steel during hot deformation. *Acta Metall Sin (English Letters)* 2018;31(4):401–14.
- [15] Hao Y, Cao G, Li C, Li J, Liu W, Zhang W, et al. The aging precipitation behavior of 20Cr-24Ni-6Mo super-austenitic stainless steel processed by conventional casting and twin-roll strip casting. *Mater Charact* 2019;147:21–30.
- [16] Sandvick 254 SMO updated Datasheet 23/07/2018 15:39:34 <https://www.materials.sandvik/en/materials...datasheets/tube.../sandvik-254-smo/?...pdf>. (Accessed 01 December 18).
- [17] Bergquist E.L., Huhtala T., and Karlsson L. The effect of purging gas on 308L TIG root pass ferrite content, *Welding in the World*. 2011: 3/4, 55; 57-64.
- [18] Yılmaz R., Tehçi T., Östenitik Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağında Kaynak Akımı ve Kompozisyonun Nüfuziyete Etkisi, *Sakarya University Journal of Science*, 16(1), 53-61, 2012.
- [19] Lathabai, S., Stout, R. D., Shielding gas and heat input effects on flux-cored weld metal properties. *Welding J*. 64: 11, 303s–313s., 1985

[20] Mukhopadhyay, S., Pal, T.K., Effect of shielding gas mixture on gas metal arc welding of HSLA steel using solid and flux-cored wires, International Journal Advanced Manufacturing Technology, 29: 262–268, 2006

[21] Lippold J.C. and Kotecki D.J.: Welding metallurgy and weldability of stainless steels, John Wiley & Sons, New Jersey, 2005.

[22] E. Taban, S. Aykan, E. Kaluç. , "TIG (GTAW) Kaynaklı Ostenitik Paslanmaz Çelik Borularda Kök Koruma Gazının Mekanik, Mikroyapı, Tokluk ve Korozyon Özellikleri Üzerine Etkileri," Kaynak Teknolojisi 12. Ulusal Kongre ve Sergisi , Ankara, Turkey, pp.247-257, 2021

[23] E. Kaluç, E. Taban, "Paslanmaz Çelikler Geliştirilen Yeni Türleri ve Kaynak Edilebilirlikleri", Ankara: TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 2007, pp.54

## ÖZGEÇMİŞ

Cevat Cüneyt SATIROĞLU, 05.07.1991'de Sakarya'da doğdu. İlk ve orta eğitimini Sakarya 'da tamamladı. Lise eğitimini İstanbul Atatürk Fen Lisesi 'nde tamamladı. 2010 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği bölümünü 2015 yılında bitirdi. 2015-2018 yılları arasında Kıran Tersanesinde, Üretim Mühendisi ve sonrasında Kalite Kontrol Mühendisi olarak çalıştı. 2017 yılında Gedik Eğitim Vakfı 'nda Uluslararası Kaynak Mühendisliği eğitimini tamamladı. 2018 yılından itibaren Beşiktaş Tersane A.Ş. bünyesinde Kalite Kontrol ve Kaynak birim amiri olarak çalışmakta ve kaynak eğitimleri vermektedir. Halen Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda prof. Dr. Emel taban danışmanlığında Yüksek Lisans öğrenimine devam etmektedir.

Cevat Cüneyt Satiroğlu

+90 536 583 18 06 / +90 538 590 54 72

[cevatcuneysatiroglu@gmail.com](mailto:cevatcuneysatiroglu@gmail.com)

[cuneysatiroglu@besiktasshipyard.com](mailto:cuneysatiroglu@besiktasshipyard.com)

# Gaz Tungsten Ark Kaynaklı 316L-SAF 2205 Paslanmaz Çelik Bağlantının İçyapı ve Mekanik Özelliklerine İlave Tel Etkisinin Belirlenmesi

Muhammed M. ARSLAN<sup>1</sup> ve Prof. Dr. Gürel ÇAM<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 31200 İskenderun-Hatay

<sup>2</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 31200 İskenderun-Hatay (gurel.cam@iste.edu.tr)

## ÖZET

Kimya ve petro-kimya endüstrileri gibi çeşitli uygulamalarda, doğal üstün özelliklerinden yararlanmak için sıklıkla farklı paslanmaz çelik levhaların kaynağı gerekmektedir. Ancak farklı paslanmaz çeliklerin kaynağı farklı fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinden dolayı değişik güçlükler arz eder ve kaynak işleminde itina gerektirir. Bu bağlamda, farklı paslanmaz çeliklerin başarılı bir şekilde birleştirilmesi için uygun kaynak parametrelerinin ve özellikle de uygun ilave tel kullanımı büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışma, gaz tungsten ark kaynağı (GTAK) ile üretilen farklı AISI 316L (östenitik paslanmaz çelik) ve SAF 2205 (dubleks paslanmaz çelik) bağlantıların mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerindeki dolgu teli tipinin etkisini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla, 3 mm kalınlığında AISI 316L ve SAF 2205 levhalar, AWS ER2209 ve AWS 309L olmak üzere iki farklı dolgu teli kullanılarak GTAK işlemi ile birleştirilmiştir. Kaynak dikişleri ve ısıdan etkilenen bölgelerin (IEB'lerin) mikro yapılarında meydana gelen değişiklikler ve üretilen bağlantıların mekanik özellikleri, detaylı optik mikroskop incelemeleri ve mikro sertlik ölçümleri yanı sıra çekme ve eğme testleri ile incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Östenitik paslanmaz çelik, 316 L, dubleks paslanmaz çelik, TIG, farklı çelik kaynağı, ilave tel, içyapı oluşumu, kaynak performansı.

## Determination of Filler Wire Effect on Microstructure and Mechanical Properties of Gas Metal Arc Welded Dissimilar 316L-SAF 2205 Stainless Steel Joint

### ABSTRACT

Joining dissimilar stainless steel plates is often required in various applications such as chemistry and petro-chemistry industries in order to take advantage of their inherent superior properties. However, welding of different stainless steels presents various difficulties due to their different physical, chemical, and mechanical properties and requires special care in the welding process. In this context, the use of suitable welding parameters,

particularly the appropriate filler wire, is of great importance for the successful joining of different stainless steels.

This study aims to investigate the effect of filler wire type on the microstructure and mechanical properties of dissimilar AISI 316L (austenitic stainless steel) and SAF 2205 (duplex stainless steel) joints fabricated by gas tungsten welding arc. For this purpose, 3 mm thick AISI 316L and SAF 2205 plates were joined by the GTAW process using two different types of filler metals namely AWS ER2209 and AWS 309L. The changes occurring in the microstructures of fusion zones (FZs) and heat-affected zones (HAZs) and the mechanical properties of the joints produced were studied by detailed optical microscopy and micro-hardness measurements in addition to tensile and bending tests.

**Keywords:** Austenitic stainless steel, 316 L, duplex stainless steels, TIG, dissimilar joining, filler wire, microstructural evolution, weld performance.

## 1. GİRİŞ

Östenitik paslanmaz çelikler, düşük sıcaklıklarda bile çok iyi şekillendirilebilirlik, iyi mekanik özellikler ve yüksek korozyon direnci gibi çok iyi özellikler sergiler. Östenitik çelikler, tüm paslanmaz çelikler arasında miktar olarak en çok üretilen kalitelere sahiptir. Kimya ve petro-kimya endüstrileri, gıda işleme endüstrisi, tıp ve dişçilik ekipmanları ve mutfak eşyaları gibi birçok endüstride yaygın olarak kullanılmaktadırlar [1-11]. Öte yandan, dubleks paslanmaz çelikler (DSS), çift fazlı mikro yapıları nedeniyle östenitik kalitelere göre daha üstün korozyon direnci ve daha yüksek mukavemet gösterir. Bu nedenle, son yıllarda dubleks çelikler, östenitik paslanmaz çeliklerden daha yüksek mukavemet ve korozyon direnci gerektiren yapısal uygulamalarda giderek daha popüler hale gelmekte ve kimyasal proses, petrokimya, petrol ve gaz, gaz iletim hatları, deniz suyu, su tuzdan arındırma, LNG (sıvılaştırılmış doğal gaz) tankları ve madencilik uygulamalarında tercih edilmektedir [12-18]. Bu nedenle, endüstride yapısal bir malzeme olarak dubleks çeliklerin kullanılmasına yönelik güçlü bir eğilim artmıştır [19-21]. Bu nedenle, son yıllarda dubleks paslanmaz çelikler, nispeten uygun bir fiyata kaynaklanabilirliği ve tokluğu korurken üstün mekanik özelliklere ve korozyon direncine sahip oldukları için östenitik ve süper östenitik paslanmaz çeliklerin yerini almaktadır [22]. Bununla birlikte, maliyetleri östenitik kalitelere göre çok daha yüksektir. Bu nedenle, tam bir değiştirme her zaman ekonomik olmadığından bu iki farklı kalitenin birleştirilmesi gereken kısmi bir değiştirme tercih edilmektedir. Dolayısıyla, farklı paslanmaz çeliklerin doğal üstün özelliklerinden yararlanmak için çeşitli uygulamalarda farklı paslanmaz çelik plakaların birleştirilmesi sıklıkla gerekmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin ergitme kaynak işlemlerinde, özellikle de ısı girişi yeterince yüksek olduğunda, ısıdan etkilenen bölgede (IEB) karbür çökmesi, sıcak çatlama ve ergime bölgesinde (EB) kırılmalı sigma fazı oluşumu gibi çeşitli güçlükler söz konusudur [7]. Diğer taraftan, dubleks paslanmaz çeliklerin ergitme kaynak işlemlerinde malzemenin maruz kaldığı ısı kaynak metalinin ve ısıdan etkilenen bölgenin içerdikleri ferrit ve östenit



oranını değiştirebilir. ISO 15156-3'e göre ergitme kaynaklı bağlantının kaynak dikişindeki östenit içeriği %30-%70 aralığında olmalıdır [23]. Ancak, hızlı soğuma kaynak dikişindeki ferrit-östenit oranını olumsuz etkileyebilir [24]. IEB'de kaynak esnasında östenit fazının ferrite dönüşmesi ve kaynak sonrası soğuma esnasında tekrar östenite dönüşmesi gibi katı hal faz dönüşümleri de bu çeliklerin kaynağında dikkat edilmesi gereken diğer bir husustur. Kaynak işleminde soğuma hızı yüksek ise IEB'de de oluşan östenit miktarı azalır ve daha fazla ferrit fazı oluşabilir. [25-27]. Bu oranların değişmesi de malzemenin mekanik özelliklerinin ve korozyon direncinin olumsuz etkilenmesine neden olur [12,28-30]. Özellikle, lazer ve elektron kaynağı gibi düşük ısı girdili kaynak yöntemleri kullanıldığında yüksek soğuma hızları kaynak bölgesinde ferrit-östenit dengesinin bozulmasına yol açabilir [31-34]. Diğer taraftan, yüksek ısı girdileri kullanılırsa, ortaya çıkan yavaş soğuma katı faz dönüşümünü teşvik eder ve daha uygun bir faz (ferrit-östenit) dengesi ve dolayısıyla daha iyi mekanik özellikler sağlar [35]. Farklı stenitik ve dubleks paslanmaz çeliklerin (rneğin AISI 316L/SAF 2205) birleştirilmesi, baz metallerin (BM'lerin) ergime sıcaklığı, ısı iletkenlik, kimyasal bileşim ve ısıl genleşme gibi farklı özelliklerinden dolayı daha zordur.

Son yıllarda, farklı çeliklerin kaynağı konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır [36-45]. Benzer ve farklı paslanmaz çeliklerin kaynağında en yaygın kullanılan yöntemler arasında yaygın olarak MIG kaynağı olarak da bilinen gaz metal ark kaynağı (GMAK), TIG kaynağı da denilen gaz tungsten ark kaynağı (GTAK) ve zl tel ark kaynağı (MAK) gelmektedir. Örneğin, Serindağ & am [36] GMAK yöntemiyle ER307 ilave tel kullanılarak birleştirilmiş farklı AISI 304L-AISI 430 kaynaklı bağlantılarda ısı girdisinin kaynak bölgesindeki içyapısal değişimlere etkisini incelemişler ve artan ısı girdisi ile hem daha geniş IEB oluştuğu hem de IEB'de oluşan ferrit tanelerinin daha kaba taneli olduğunu rapor etmişlerdir. Hsieh ve ark. [44] da, GTAK ile üretilen farklı 304/430 paslanmaz elik kaynaklı bağlantılardaki mikroyapısal oluşumları incelemiş ve ergime bölgesi içinde sertlik artışına neden olan ve dolayısıyla tokluğu düşüren masif delta-ferrit çökelmesinin meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Benzer şekilde, Shojaati ve Beidokhti [45], dolgu maddesi bileşiminin (E310, E316L, E2209 ve Ni-esaslı tel) farklı paslanmaz elik bağlantıların mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi üzerine ayrıntılı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Ni-bazlı dolgu metalinin, Ni-Cr-Fe matrisi ve demir bazlı çökeltilerden oluşan bir kaynak mikro yapısı ürettiğini bildirdiler. Ayrıca ince bir martenzit tabakasının oluşması ergime hattında çatlamaya neden olmuştur. Kaynak dikişi mikro yapısındaki yüksek delta-ferrit miktarının bu bölgenin sertliğini arttırdığına dikkat çekilmiştir. Diğer taraftan, E310, E316L ve E2209 gibi çeşitli dolgu çubukları kullanılarak üretilen bağlantılarda ise karbür/nitrür fazları gözlenmemiştir. Bir başka çalışmada, östenitik ile dubleks paslanmaz elik çiftinin birleştirilmesinde kaynak yönteminin ve ilave metal seçiminin birleştirme mekanik özelliklerine ve mikro-yapısına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla AISI 316L stenitik ve AISI 2205 dubleks paslanmaz elik ifti GMAK yöntemi kullanılarak TETRA V 316L-G ve TETRA S 22 9 3L-G flaks zl tel ile "V" kaynak ağzı açılarak birleştirilmiştir [46]. Birleştirmelerin ekme testi sonrasında kopmalar, en düşük akma dayanımına sahip olan östenitik paslanmaz elik tarafındaki IEB'de gerçekleşmiştir.

Benzer ve farklı kaynaklar için sarf malzemesi seçimi, mekanik özelliklerin iyileştirilmesinde, uygun faz dengesinin oluşturulmasında ve katılma çatlama önlenmesinde çok önemli bir rol oynar [47]. Genel olarak, soğuma hızının çok yüksek olduğu durumlarda, östenit/ferrit dengesini korumak ve daha iyi mekanik özellikler ve korozyon direnci elde etmek için, kaynak dolgu metallerinin kaynak yapılan paslanmaz çelik levhadan %2-4 daha fazla Ni içermesi ve daha östenitik bir bileşime sahip olması önerilir. Ni'nin rolü, yüksek soğuma hızı nedeniyle östenit fazındaki azalmayı telafi ederek içyapıda östenit miktarını arttırmaktır [12]. Benzer ve farklı DSS'lerin birleştirilmesi için farklı kaynak prosesleri ile uyumlu ve en popüler olan ER 2209 sarf malzemesidir ve bu ilave tel ile elde edilen bağlantılar daha iyi korozyon direnci ve mekanik özellikler gösterir [12]. Örneğin, Geng ve ark. [48] farklı ilave teller (ER2209, ER316LSi ve ER308LSi) ile SAF 2205 dubleks paslanmaz çelik levhaları kaynak yapmış ve korozyon performanslarını mukayese etmiştir. Lokal (noktasal) korozyona en yüksek direnci ER2209 ilave tel ile üretilen bağlantı göstermiştir. Diğer taraftan, Rahmani ve ark. [49], ER2594 ve ER309L dolgu maddeleri kullanılarak çok pasolu GTAK tekniği ile elde edilen farklı UNS S32750 ve AISI 304L bağlantıların mekanik özelliklerini ve korozyon performansını incelemiş ve dolgu metalinden bağımsız olarak, optimum mekanik özelliklere ve korozyon direncine sahip bir mikro yapı elde etmenin zor olduğunu bildirmiştir. Başka bir çalışmada, SAF 2205 (dubleks paslanmaz çelik) ve AISI 316L (östenitik paslanmaz çelik) levhalar ER347, ER316L ve ER309L olmak üzere üç farklı ilave tel kullanılarak GTAK yöntemi ile kaynaklanmıştır [3]. Metalurjik incelemeler ve korozyon testleri sonuçlarına göre ER 309L kaynak telinin farklı SAF 2205 ve AISI 316L levhaların GTAK yöntemi ile kaynağı için uygun olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, bir başka çalışmada da farklı SAF 2205 - AISI 316 bağlantılarda, dubleks ER 2205 dolgu teli, farklı kimyasal bileşim, daha yüksek Cr, Mo ve çift faz yapısı nedeniyle ER 304 dolgu teline kıyasla daha fazla çekme mukavemeti göstermiştir [50]. Diğer taraftan, SAF 2205 ile düşük alaşımlı çelik levhaların örtülü elektrot ark kaynağında ER309L ilave tel ER2209 ilave telden daha iyi korozyon performansı gösterirken, ER2209 dubleks ilave tel çift fazlı yapısı ve daha faz dengesi sayesinde ER309L östenitik ilave telden daha iyi mekanik özellikler sağladığı ileri sürülmüştür [51].

Farklı östenitik ve dubleks paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde aktif flakslı TIG kaynağı [52], orijinal olarak Al-alaşımları için geliştirilmiş olarak sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) [11,38,53-63], lazer kaynağı ve elektron kaynağı [12,33,64] gibi modern kaynak teknikleri de kullanılabilir. Örneğin, Ramkumar ve ark [50] aktif flakslı TIG yöntemi ile birleştirilen süper dubleks/östenitik paslanmaz çelik kaynak bağlantıları içyapı-özellik ilişkilerin, incelemiş ve flaks kullanımının derin nüfuziyet için gerekli ısı girdisini düşürdüğünü rapor etmişlerdir. Ayrıca, kaynaklı bağlantıların östenitik baz plakalardan daha yüksek mukavemet performansı göstermişlerdir. SKK yöntemi dubleks paslanmaz çeliklerin benzer kaynağı ve farklı dubleks-östenitik paslanmaz çelik kombinasyonlarında iyi sonuç verme potansiyeline sahiptir [12]. Ancak, bu yöntemde karıştırıcı takım aşınması, geometrik sınırlamalar, levhaların sabitlenmesi ve düşük kaynak hızı gibi dezavantajları bulunmaktadır. Lazer kaynağı ve elektron kaynağı gibi enerji yoğunluklu yöntemlerde de düşük ısı girdisi sonucu hızlı soğuma söz konusu olduğundan kaynak bölgesinde (kaynak

dikişi ve dubleks baz levha tarafındaki IEB’de) ferritleşme ve bunun sonucu ferrit-östenit dengesinin bozulması sorunu ile karşılaşılabılır [12,33,65-71]. Bu sorunu gidermek için kaynak sonrası ısıl işlem uygulanabilir [67]. Ancak bu üretim maliyetini artıracığı için birçok uygulamada tercih edilmemektedir. Dolayısıyla, kaynak sonrası soğuma hızının kontrol edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bu yöntemler paslanmaz çeliklerin benzer ve farklı kombinasyonlarda kaynak işlemlerinde yüksek yatırım maliyetlerinden dolayı sık kullanılan yöntemler değildir.

Yukarıdaki tartışmadan açıkça anlaşılacağı gibi, farklı östenitik ve dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağı için güvenilir kaynak prosedürlerinin geliştirilmesine hala gereksinim duyulmaktadır. İlave olarak, 3 mm kalınlığında AISI 316L ve SAF 2205 paslanmaz çelik levhaların yaygın olarak TIG kaynağı olarak da bilinen GTAK yöntemi ile birleştirilmesi konusunda bugüne kadar sınırlı sayıda çalışma yapılmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada, 3 mm kalınlığında AISI 316L ve AISI 318LN (SAF 2205) paslanmaz levhalar 2 mm çapında AWS ER2209 ve AWS 309L olmak üzere iki farklı dolgu teli kullanılarak GTAK işlemi ile iki pasoda birleştirilmiştir. Farklı dolgu telleri kullanılarak yapılan kaynak denemeleri, bu farklı paslanmaz çelik levhaları birleştirmek için hangi dolgu telinin uygun veya daha iyi olduğunu belirlemek için sabit kaynak parametreleri altında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen kaynaklı bağlantının kaynak bölgesinde oluşan içyapıların karakterizasyonu için kaynaklı bağlantıdan çıkarılan metalografi numunesinde optik mikroskop kullanılarak ayrıntılı mikro yapısal incelemeler ve mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Mekanik özelliklerin ve kaynak performansının belirlenmesi için ayrıca hem baz malzemeden hem de kaynaklı birleştirmeden çıkarılan numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Ek olarak, farklı ilave tel ile elde edilen bağlantıların kaynak bölgesindeki içyapısal değişimleri ve mekanik özellikleri mukayese edilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada kullanılan malzemeler 3 mm kalınlığındaki soğuk haddelenmiş AISI 316L kalite östenitik paslanmaz çelik ve AISI 318LN tipi çift fazlı (dubleks) paslanmaz çelik (SAF 2205 – malzeme numarası 1.4462) levhalardır. Bu iki farklı çelik levhaların GTAK yöntemi ile farklı ilave tel (ER2209 ve ER309L) kullanılarak kaynak edilebilirliği araştırılmıştır. Kullanılan levhaların tedarikçi firmadan temin edilen sertifika değerlerine göre ağırlık yüzdesi cinsinden kimyasal bileşimleri Çizelge 1’de verilmektedir. Aynı çizelgede çalışmada kullanılan ilave tellerin de ağırlık cinsinden kimyasalları da verilmektedir.

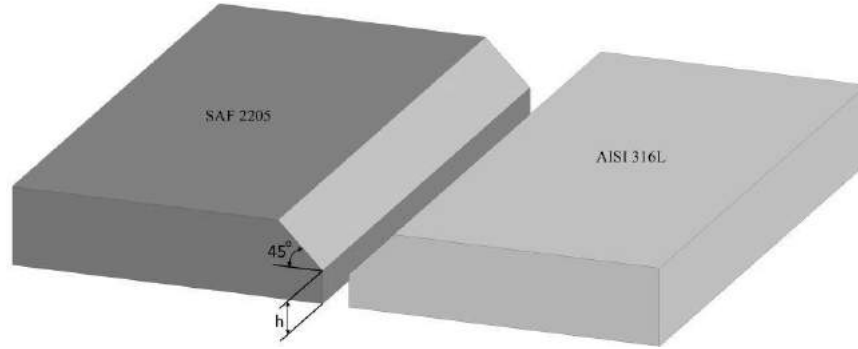
Kaynak denemeleri için, piyasadan temin edilen plakadan kaynak yönü hadde yönüne dik olacak şekilde 195x300 mm boyutlarında dikdörtgen şekilli parçalar CNC’de kesilmiş ve bu parçalarda Şekil 1’de gösterildiği gibi EN ISO 9692-1 standardına uygun biçimde kaynak ağzı açılmıştır. Birleştirilecek yüzeyler birleştirme işleminden önce paslanmaz çelik metal fırça ile mekanik olarak temizlenmiştir. Kaynak işlemleri kök paso ve kapak pasosu olmak üzere iki pasoda 2 mm çapında ER2209 ve ER309L olmak üzere iki farklı ilave tel kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı dolgu telleri kullanılarak yapılan kaynak denemeleri, bu farklı paslanmaz çelik levhaları birleştirmek için hangi dolgu telinin uygun veya daha iyi olduğunu belirlemek için Çizelge 2’de verilen sabit kaynak parametreleri altında gerçekleştirilmiştir. Kaynak işleminde her pasoda ilave tel 1,5 mm/s’lik bir hız ile

beslenmiştir. Koruyucu gaz olarak kaynak bölgesine %99,95 saflıkta argon gazı 16 L/min debide beslenmiştir. Tüm kaynak denemelerinde kaynak tabanından sıvı metal akması sonucu yetersiz doldurma hatası oluşmaması için seramik altlık kullanılmıştır. Ayrıca, kaynak işlemi süresince şase bağlantısı ve uzatma kablosu düz pozisyonda tutulmuştur.

Çizelge 1. Bu çalışmada kullanılan paslanmaz çelik plakaların (AISI 316L ve AISI 318LN) ve ilave tellerin (ER2209 ve ER309L) kimyasal kompozisyonları (ağırlık % cinsinden)

Kimyasal Kompozisyon (ağ. %)												
Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Nb	Cu	Co	N
Baz Plaka 1 (AISI 316L*)	0,024	0,48	1,13	0,003	0,001	16,60	10,1	2,03	--	--	--	0,04
Baz Plaka 2 (SAF 2205*)	0,016	0,37	1,49	0,026	0,001	22,23	5,74	3,13	0,017	0,25	0,18	0,18
Dolgu Teli 1 (ER2209*)	0,01	0,45	1,45	--	--	23,0	8,5	--	--	--	--	0,15
Dolgu Teli 2 (ER309L*)	0,02	0,35	1,75	--	--	23,5	13,5	--	--	--	--	--

(\*geri kalan: Fe)



Şekil 1. Kaynak denemeleri için plakaların hazırlanması (kaynak ağzı detayları).

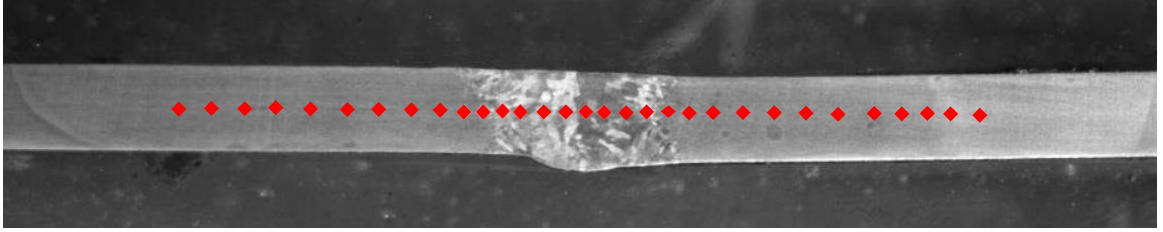
(h: 1 mm, kaynak kökünde plakalar arası mesafe: 2 mm)

Çizelge 2. Kaynak denemelerinde kullanılan parametreler (denemelerde DAEN kullanılmıştır).

Kaynak pasosu	Akım (A)	Voltaj (V)	Kaynak hızı (mm/min)	Isı girdisi (kJ/mm)	İlave tel besleme hızı (mm/s)
Kök Paso ve Dolgu Paso	120	28	36	3,92	1,5

Hem kök pasosu hem de dolgu pasosunda aynı parametreler ve koruma gazı olarak %99,95 saflıkta argon gazı kullanılmıştır. Isı girdisi şu formülle hesaplanmıştır:  $q = \eta I U 60/1000$  v ( $q$  = ısı girdisi (kJ/mm),  $\eta$  = ark verimliliği (GTAK için 0,7),  $U$  = ark gerilimi (V),  $I$  = akım (A), ve  $v$  = kaynak hızı (mm/min)).

Kaynak bölgesinde gerçekleşen mikro yapısal değişimleri belirlemek ve içyapıda meydana gelen değişimlerin mekanik özellikler üzerindeki etkisini değerlendirmek için elde edilen kaynaklı bağlantıların her birinden bir metalografi numunesi, iki eğme numunesi ve dört çekme numunesi çıkarılmıştır. Karşılaştırma amacıyla ve bağlantı performansını değerlendirmek için çalışmada kullanılan her iki baz levhadan da ASTM A370 standardına göre en az üç çekme numunesi çıkarılmıştır. Zımparalama ve parlatmayı takiben metalografi numunelerini içyapı incelemelerine hazır hale getirmek için 50 ml HCl ve 150 ml HNO<sub>3</sub>'ten oluşan bir çözelti (kral suyu) kullanılarak 20 saniye süre ile dağlanmış. Metalografi numuneleri üzerinde detaylı mikro yapı incelemelerine ilaveten takiben mikrosertlik ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Şekil 2'den görüleceği üzere, metalografi numuneleri üzerinde kaynak kesiti merkezi civarında olacak şekilde bir çizgi üzerinde hem baz levha hem de IEB ve ergime bölgesinde, 980 N'luk (10 kg) bir yük kullanılarak bir dizi mikrosertlik ölçümü yapılmıştır. Bu ölçüm değerleri ile her bir kaynaklı bağlantı için kaynak kesiti boyunca sertlik dağılımını gösteren sertlik profili belirlenmiştir.



Şekil 2. Kaynak kesitinde baz levha, IEB ve kaynak dikişinde mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı noktaları gösteren makro resim.

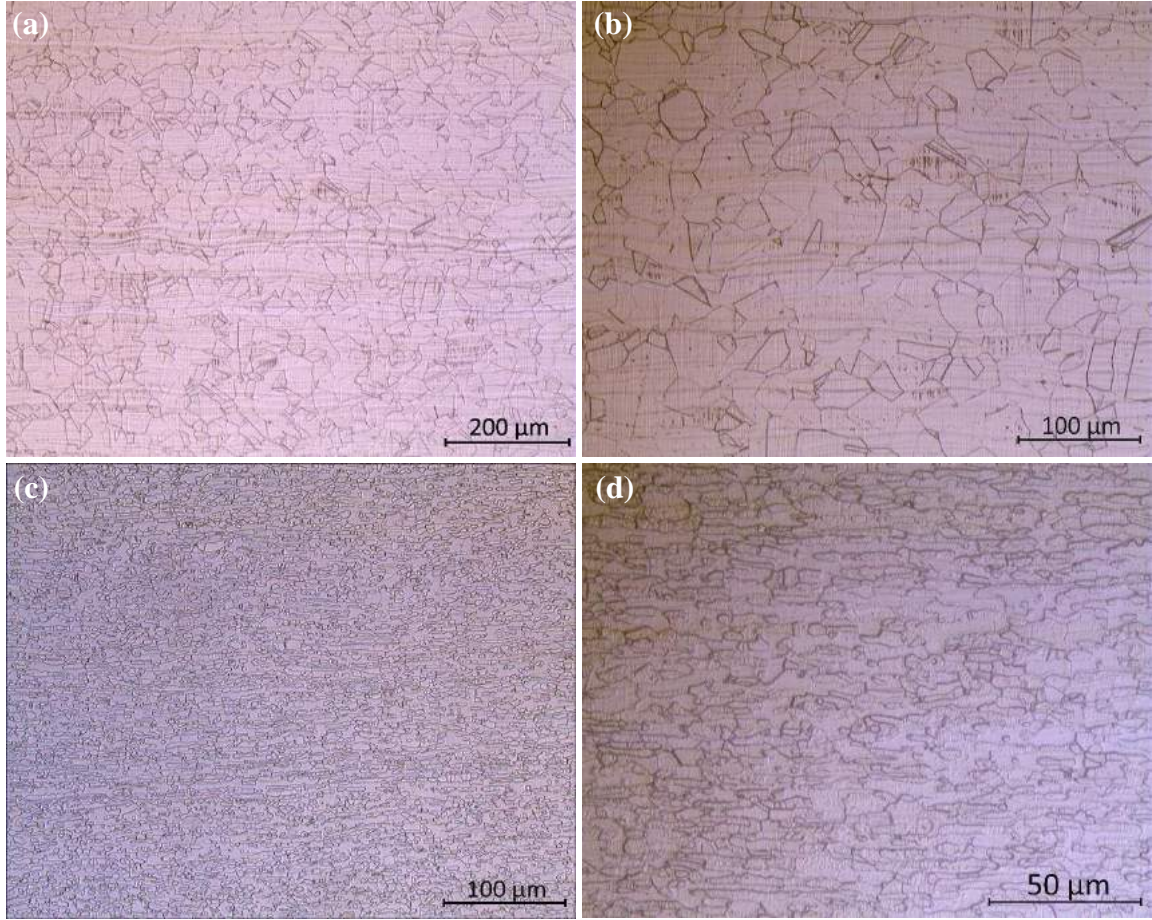
Ayrıca, kaynaklı bağlantıların mekanik davranışları, mekanik performansları ve kaynak kaliteleri gibi özelliklerini tayin etmek için hem baz levhalardan hem de kaynaklı bağlantılardan çıkarılan çekme test numuneleri, ISO 6892-1'e göre 0,0025 1/s'lik bir deformasyon hızı ile test edilmiştir. Elde edilen kaynaklı bağlantıların kaynak bölgelerinde bükme zorlamasında çatlama olup olmadığını tespit etmek için her iki bağlantıdan da ikişer adet bükme numunesi de çıkarılmıştır. Bu bükme numunelerinden biri yüzey bükme durumunda, diğeri ise kök bükme şartlarında kaynak merkezi orta konumda olacak şekilde yaklaşık 140-150 dereceye kadar bükülmüştür.

### 3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada elde edilen bulgular bu bölümde iki alt başlık altında tartışılacaktır.

#### 3.1. Mikroyapı

Bu çalışmada kullanılan 3 mm kalınlığındaki AISI 316L östenitik ve AISI 318LN (SAF 2205) dubleks paslanmaz çelik baz levhaların içyapıları Şekil 3'te verilmektedir. Şekilden görüleceği üzere AISI 316L kalite östenitik baz levha, hadde yönünde yönlenmiş (uzamış) delta ferrit fazı içeren östenit tanelerinden oluşan bir mikro yapıya sahiptir (Şekil 3a ve b). Ayrıca, içyapıda ikiz sınırları da gözlenmiştir. Diğer taraftan, AISI 318LN dubleks paslanmaz çelik plaka ise östenit (%50) ve delta ferritten (%50) oluşan bir içyapıya sahiptir (Şekil 3c ve d). Bu mikro yapıdaki ferrit/östenit dengesi sayesinde bu çelikler yüksek mekanik özellikler ve aynı zamanda östenitik paslanmaz çeliklerle karşılaştırıldığında daha üstün korozyon direnci (gerilmeli korozyon çatlama ve oyuklanma korozyonuna karşı yüksek direnci) sergilemektedir.



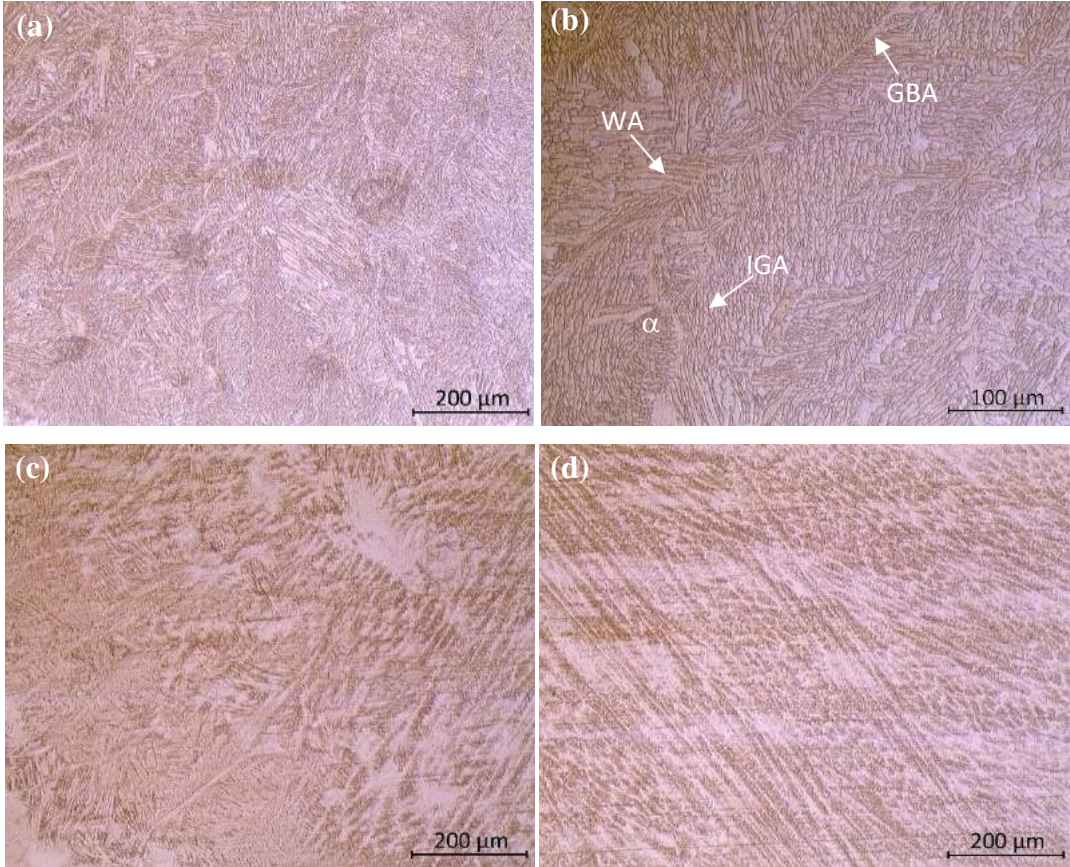
Şekil 3. Çalışmada kullanılan AISI 316L ve 318LN baz levhaların içyapısını gösteren mikro resimler: (a) AISI316L, 100X, (b) AISI 316L, 200X, (c) AISI 318LN, 200X ve (d) AISI 318LN; 500X büyütme.

Şekil 2’de verilen makro resimden de görüleceği üzere, bu çalışmada elde edilen kaynaklı bağlantıların kaynak profili oldukça iyidir ve kaynak bölgesinde porozite, çatlak vb. herhangi bir süreksizlik gözlenmemiştir. Bu da kaynaklı bağlantının kaynak kalitesinin tatminkâr olduğunu göstermektedir.

Kaynaklı bağlantıların ergime bölgesinde (kaynak dikişinde) oluşan içyapılar Şekil 4’te gösterilmektedir. Şekil 4 (a ve b)’den görüleceği üzere ER2209 dubleks ilave tel ile elde edilen bağlantının kaynak dikişinde, ER2209 ile kaynak edilmiş benzer SAF2205-SAF2205 bağlantıların kaynak dikişindeki yapıya benzer [74] östenit ve ferrit fazlarından ibaret çift fazlı bir içyapı oluşmuştur. Bu döküm yapısına benzer çift fazlı mikro yapının, ferrit fazı ile tane sınırı östeniti, Widmanstatten östeniti ve tane içi östeniti ihtiva ettiği görülmektedir. Ayrıca, dikkat çeken bir başka husus bu bağlantının kaynak dikişinde östenit daha fazladır. Diğer taraftan, ER309L ile üretilen bağlantının kaynak bölgesinde daha heterojen (kaynak dikişinde SAF 2205 dubleks baz plaka tarafından AISI 316L östenitik baz plaka tarafına doğru değişen) bir içyapı gözlemlenmiştir. Bu bağlantıyı kaynak ergime bölgesinin dubleks baz plakaya yakın kısmında ferrit ve östenit fazlarının birbirine yakın miktarda olduğu dubleks çeliklerin kaynak dikişine ve ER2209 ile elde edilen farklı SAF2205-AISI316L bağlantıların kaynak dikişindeki yapıya benzer bir içyapı



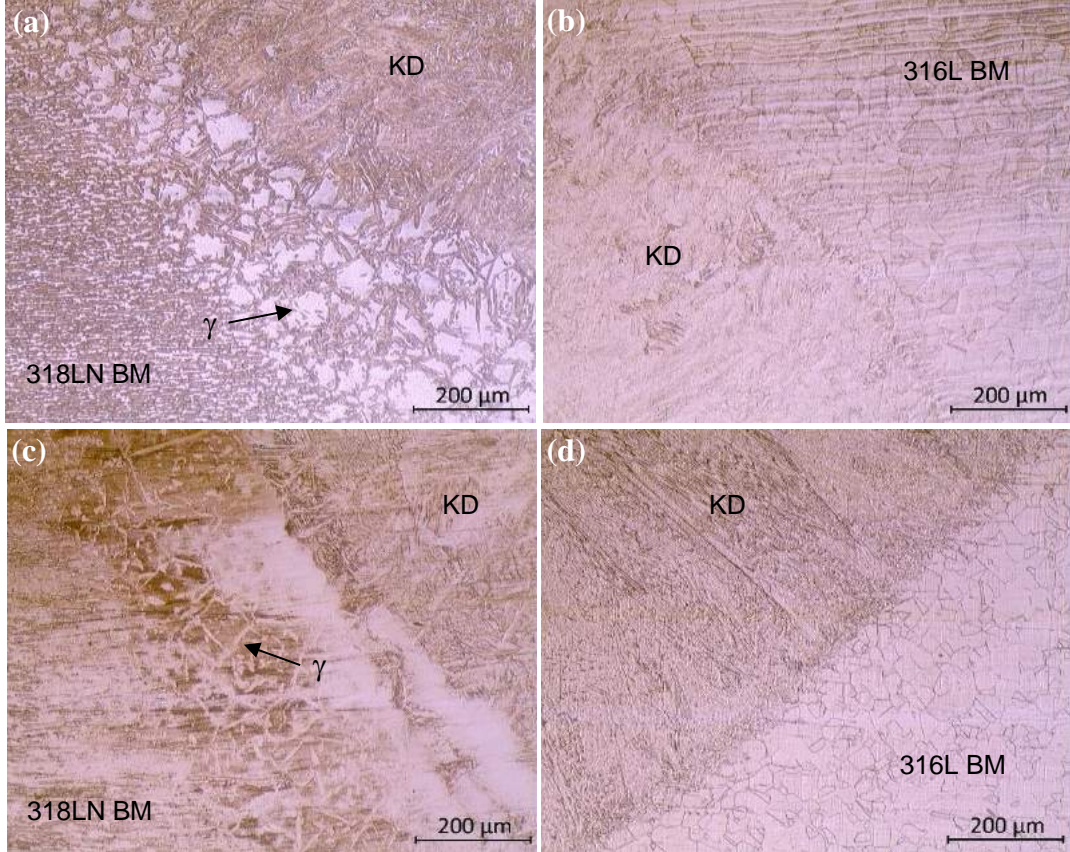
gözlenmiştir (Şekil 4c). Diğer taraftan kaynak dikişinin östenitik baz plakaya tarafına doğru östenitik paslanmaz çeliklerin ergime bölgesinde görülen, östenit dendritleri ve dendritler arası delta ferrit fazı içeren tipik bir dendritik yapı oluşmuştur (Şekil 4d). Bu da östenitik ilave tel kullanımının doğal bir sonucu olup kullanılan ilave tel türünün kaynak dikişi içyapısı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Diğer bir ifade ile bu biri dubleks diğeri östenitik iki farklı paslanmaz kalitedeki çelik levhaların kaynağında dubleks ilave tel kullanıldığında kaynak dikişinde dubleks bir içyapı diğer taraftan östenitik bir ilave tel kullanıldığında kaynak dikişinde dubleks levhadan östenitik levhaya doğru dubleks bir içyapıdan (Şekil 4c) östenitik bir içyapıya (Şekil 4d) geçiş söz konusudur.



Şekil 4. Kaynaklı bağlantıların ergime bölgelerindeki içyapıları gösteren mikro resimler: (a) ER2209 ile elde edilen bağlantı (x100 büyütme), (b) ER2209 ile elde edilen bağlantı (X200 büyütme), (d) ER309L ilave tel ile üretilen bağlantının kaynak dikişinin dubleks baz levhaya yakın kısmı (x100) ve (e) aynı bağlantının kaynak dikişinin östenitik baz plakaya yakın kısmı (X100 büyütme).

Kaynaklı bağlantıların ergime bölgeleri ile dubleks ve östenitik baz levhalar arasındaki ısıdan etkilenmiş bölgeler (IEB'ler) Şekil 5'te gösterilmektedir. Şekilden de açıkça görüleceği üzere, farklı ilave tel kullanılarak elde edilen her iki bağlantının da ergime bölgesi ile dubleks paslanmaz baz levha arasındaki IEB'de ferrit ve östenit fazlarını içeren çift fazlı bir içyapı oluşmuştur. Ancak, ER2209 dubleks ilave tel ile üretilen bağlantının kaynak dikişi ve dubleks baz plaka arasındaki IEB'de oldukça kaba taneli östenit taneleri ve bunların aralarında ferrit fazından ibaret bir içyapı oluşurken (Şekil 4a), ER309L

östenitik ilave tel ile üretilen bağlantının kaynak dikişi ve dubleks baz plaka arasındaki IEB’de ferrit ve tane sınırı östenitinden oluşan bir içyapı gözlenmiştir (Şekil 4b). Ayrıca, östenitik ilave tel ile elde edilen bağlantının dubleks çelik tarafındaki IEB’de oluşan östenit fazı miktarı diğer bağlantıya nazaran daha fazladır. Diğer taraftan her iki farklı ilave tel ile kaynaklanan bağlantıların östenitik baz levha tarafında belirgin bir IEB oluşmamış olup, orijinal soğuk haddelenmiş östenitik baz plakanın içyapısı kaynak esnasında bu bölgeye uygulanan ısıdan etkilenmeyerek korunmuştur.



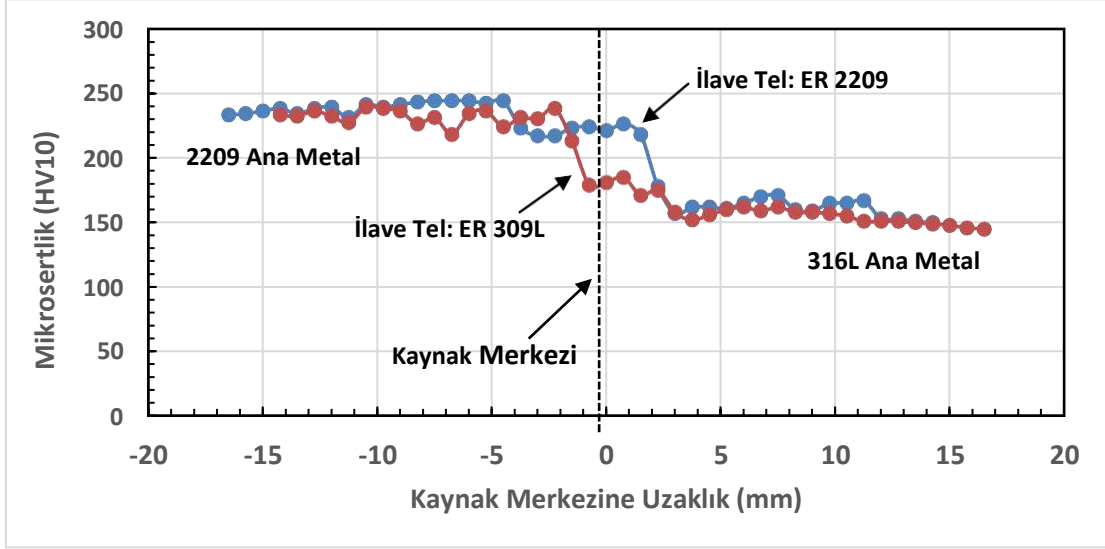
Şekil 5. Kaynaklı bağlantıların kaynak dikişi ile baz plaka arasındaki geçiş bölgelerindeki (IEB’lerdeki) içyapıları gösteren mikro resimler: (a) ER2209 ile elde edilen bağlantının dubleks çelik tarafındaki IEB (x100 büyütme), (b) aynı bağlantının östenitik baz levha tarafındaki IEB (X200 büyütme), (d) ER309L ilave tel ile üretilen bağlantının dubleks baz levha tarafındaki IEB (x100) ve (e) aynı bağlantının östenitik baz plaka tarafındaki IEB (X100 büyütme).

### 3.2.Mekanik Özellikler

Şekil 6’da her iki kaynaklı bağlantının kesitinde Şekil 2’de gösterilen noktalarda yapılan mikrosertlik ölçümleri ile edilen sertlik değerleri ve bu sertlik değerleri kullanılarak belirlenen kaynak kesiti boyunca yüksek mukavemetli dubleks çelik baz plakadan düşük mukavemetli östenitik baz plakaya kadar sertlik değerinin nasıl değiştiğini gösteren sertlik profilleri verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere, her iki bağlantının kaynak dikişinin de iki farklı baz plakanın sertlik değerleri arasında bir sertliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak, ER2209 dubleks ilave tel ile elde edilen bağlantının kaynak dikişindeki sertlik değeri yüksek mukavemetli dubleks baz plaka sertliğine daha yakın ve onun altında iken, düşük mukavemetli östenitik baz plaka sertliğinin oldukça üzerindedir. Bu durum bu



kaynaklı bağlantıda dubleks ilave tel kullanımı ve kaynak dikişinde dubleks bir iç yapının oluşmasının sonucudur. Diğer taraftan, ER309L östenitik ilave tel kullanılarak üretilen bağlantının kaynak dikişi düşük mukavemetli östenitik baz plaka sertliğine yakın ve onun üzerinde sertlik değeri sergilemiştir. Bu da östenitik ilave tel kullanımı sonucu kaynak dikişinde daha yüksek miktarda östenit fazı ve çok az miktarda dendritler arası delta ferrit oluşumu ile alakalı olup, bu sonuçlar bu iki farklı paslanmaz çeliğin kaynağında kullanılan ilave tel tipinin kaynak dikişi sertliği üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. İlaveten, bu sertlik sonuçları içyapı sonuçları ile uyumludur.



Şekil 6. Farklı ilave teller (ER2209 ve ER309L) ile elde edilen bağlantıların kaynak kesiti boyunca sertlik dağılımını gösteren sertlik profilleri.

Bu çalışmada kullanılan iki farklı baz levhadan ve iki farklı ilave tel ile elde edilen kaynaklı bağlantılardan çıkarılan çekme numunelerinden elde edilen çekme deneyi sonuçları Çizelge 3'te özetlenmektedir. ER2209 ilave tel ile elde edilen bağlantıdan çıkarılan tüm kaynak yönüne dik çekme numuneleri kaynak bölgesinden oldukça uzakta düşük mukavemetli östenitik baz plakadan koparken, ER309L ilave tel ile üretilen bağlantıdan çıkarılan numunelerin biri kaynak dikişi içerisinde diğer üç numune kaynak dikişi dışında düşük mukavemetli östenitik baz plaka içerisinde kırılmıştır (Şekil 7). Bu sonuçlar kaynaklı bağlantıların sertlik profilleri ile uyumlu olup, ER2209 ile elde edilen bağlantıların kaynak dikişinde düşük mukavemetli östenitik baz plakaya nazaran daha yüksek mukavemet artışı diğer taraftan ER309L ile elde edilen bağlantının kaynak dikişi sertliğinin ise düşük mukavemetli östenitik baz plakaya yakın olması sonucudur. Ayrıca, Çizelge 3'ten de açıkça görüleceği üzere her iki kaynaklı levhadan çıkarılan numunelerin çekme mukavemeti değerleri düşük mukavemetli östenitik baz plaka mukavemetinin üzerinde olup bu sonuçlar sertlik profilleri ile de uyumludur. Farklı ilave tel ile elde edilen her iki bağlantı da düşük mukavemetli östenitik baz plakaya oranla yüksek mukavemet performansı (yaklaşık %104 civarında) göstermiştir. Bu durum, Şekil 8'de verilen baz levha ve kaynaklı bağlantı numunelerinden elde edilen gerilme-% uzama eğrilerinden de açıkça görülmektedir. Benzer veya daha yüksek kaynak performansı değerleri lazer kaynaklı östenitik paslanmaz çeliklerde [40] ve hatta sürtünme karıştırma kaynaklı çelik bağlantılarda kaynak dikişinde sertlik artışının daha yüksek olması sonucu çok daha yüksek kaynak performansı değerleri rapor edilmiştir [38,42,73].

Diğer taraftan, Çizelge 3'ten görüleceği üzere her iki kaynaklı bağlantı numuneleri de düşük mukavemetli östenitik baz levhadan daha düşük % uzama değerleri göstermiştir. Bu kaynaklı bağlantı numunelerinin homojen olmamasından ve hem numune boyunun yaklaşık yarısını oluşturan dubleks baz plaka tarafının hem de kaynak bölgesinin daha yüksek sertliğe (mukavemete) sahip olması sonucu deney sonuna kadar elastik bölgede kalmasından (diğer bir ifadeyle plastik şekil değiştirmemesinden) ötürü % uzamaya katkıda bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Diğer bir deyişle, kaynaklı bağlantı çekme numunelerinin sadece düşük mukavemetli östenitik baz plaka kısmı çekme deneyinde plastik şekil değiştirdiğinden (constrained plasticity) %uzama değerleri düşük kalmıştır. Dolayısıyla, kaynaklı bağlantıların süneklik performansı oldukça düşük olup, ER2209 ve ER309L ilave tel ile elde edilen bağlantılar için sırasıyla %43 ve %47 olarak tespit edilmiştir. ER309L ile elde edilen bağlantının süneklik performansının daha yüksek olmasının nedeni ise bu bağlantının kaynak dikişi sertliğinin kullanılan östenitik ilave tel sebebiyle östenitik baz levha sertliğine yakın olması ve bunun sonucu bu bağlantıda kaynak dikişinin de %uzama değerine katkıda bulunmasıdır. Benzer düşük süneklik performansı, kaynak bölgesinde mukavemet artışı olan (strength overmatching) kaynaklı bağlantılarda da [32,37-43] ve özellikle de mukavemet değerleri farklı iki metalin kaynaklı bağlantılarında (dissimilar joints) normal bir durumdur [36,37,39-41,74]. Ayrıca, kaynak bölgesinde mukavemet düşüşü olması (strength undermatching) sonucu sadece kaynak bölgesinin plastik şekil değiştirdiği lazer, elektron, ark ve sürtünme karıştırma kaynaklı yüksek mukavemetli Al-alaşımı bağlantılarda [54-57,59,60,75] ve difüzyon kaynaklı farklı malzemelerin kaynağında [76] genellikle daha da düşük süneklik performansı değerleri gözlenmektedir.

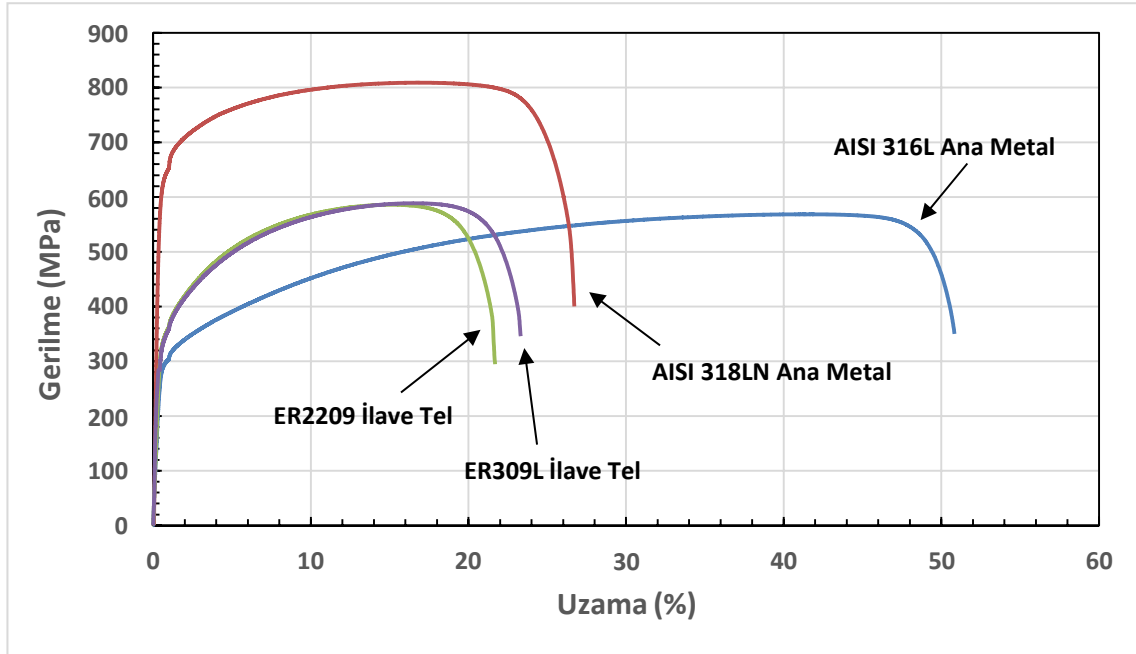
Çizelge 3. Çekme deneyi sonuçları.

Numune	R <sub>P0.2</sub> (MPa)	R <sub>m</sub> (MPa)	Süneklik (%)	Mukavemet Performansı (%)*	Süneklik Performansı (%)*
Baz malzeme 1 AISI 316L	287, 290, 287, 295 ( <b>290</b> )	569, 568, 565, 570 ( <b>568</b> )	53, 50, 51, 50 ( <b>51</b> )	---	---
Baz malzeme 2 AISI 318LN	607, 607, 608, 600 ( <b>606</b> )	807, 811, 809, 806 ( <b>808</b> )	26, 26, 26, 25 ( <b>26</b> )	---	---
Kaynak 1 (ER2209)	339, 320, 327, 318 ( <b>329</b> )	586, 585, 590, 583 ( <b>586</b> )	21, 24, 21, 22 ( <b>22</b> )	103	43
Kaynak 2 (ER309L)	326, 298, 332, 321 ( <b>319</b> )	592, 589, 584, 590 ( <b>589</b> )	26, 23, 21, 27 ( <b>24</b> )	104	47

\* Mukavemet ve süneklik performans değerleri düşük mukavemetli AISI 316L baz plaka mukavemet ve %uzama değerleri baz alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 8. Kaynaklı bağlantılardan çıkarılan kaynağa dik çekme deneyi numunelerinde kırılmanın kaynak dikişi dışında gerçekleştiğini gösteren makro resimler: (a) ER2209 ve (b) ER309L ilave tel ile elde edilen bağlantı numuneleri. (Not: ER309L ile elde edilen bağlantı numunelerinden biri kaynak dikişinden kopmuştur)



Şekil 9. Baz levhalar (AISI 318LN ve AISI 316L) ve farklı ilave teller ile elde edilen kaynaklı bağlantıdan çıkarılan numunelerden elde edilen gerilme-% uzama eğrileri.

Bunlara ilaveten, kaynaklı bağlantıdan çıkarılan hem yüzey bükme hem de kök bükme deneyinde herhangi bir çatlama gözlenmemiş olup, bu durum da kaynak kalitesinin arzu edilen düzeyde olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar kaynak bölgesinde çatlak ve porozite gibi süreksizlik tespiti yapılmayan içyapı incelemelerini destekler niteliktedir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 3 mm kalınlığındaki soğuk haddelenmiş iki farklı paslanmaz çelik (AISI316L ve AISI 318LN kalite) levhalar GTAK yöntemi ile 2 mm çapında ER2209 dubleks ve ER309L östenitik olmak üzere iki farklı dolgu teli ve aynı kaynak parametreleri kullanılarak iki pasoda başarılı bir şekilde kaynak edilmiştir. Bu çalışma sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir:

- Elde edilen kaynaklı bağlantıların kaynak profili oldukça iyi olup, porozite veya çatlak oluşumu gibi herhangi bir kaynak hatası tespit edilmemiştir.
- Kaynak işleminde kullanılan dolgu teli tipi kaynak dikişinde oluşan içyapı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Dubleks ilave tel kullanıldığında kaynak dikişi kaynak kesiti boyunca dubleks bir içyapı sergilerken östenitik bir ilave tel kullanıldığında kaynak dikişinde dubleks levhadan östenitik levhaya doğru dubleks bir içyapıdan östenitik bir içyapıya geçiş söz konusudur.
- Farklı ilave tel kullanılarak elde edilen her iki bağlantının da dubleks paslanmaz baz levha tarafındaki IEB’de ferrit ve östenit fazlarını içeren çift fazlı bir içyapı oluşmuştur. Ancak ER2209 dolgu teli üretilen bağlantıda bu bölgede daha fazla östenit fazı gözlenmiştir. Diğer taraftan her iki bağlantının östenitik baz levha tarafında belirgin bir IEB oluşmamıştır.
- Her iki bağlantının kaynak dikişinin de iki farklı baz plakasının sertlik değerleri arasında bir sertliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak, ER2209 dubleks ilave tel ile elde edilen bağlantının kaynak dikişindeki sertlik değeri yüksek mukavemetli dubleks baz plaka sertliğine daha yakın iken ER309L dolgu teli ile elde edilen bağlantının kaynak dikişi östenitik baz levha sertliğine yakın fakat biraz üzerinde bir sertlik değeri sergilemiştir.
- Kaynaklı bağlantıdan çıkarılan tüm enine çekme test numuneleri ER309L ilave tel ile elde edilen bağlantıdan çıkarılan bir numune hariç kaynak bölgesinden uzakta düşük mukavemetli östenitik baz levha bölgesinden kopmuştur. Farklı ilave tel ile elde edilen her iki bağlantı da düşük mukavemetli östenitik baz plakaya oranla yüksek mukavemet performansı (yaklaşık %104 civarında) göstermiştir.
- Diğer taraftan her iki kaynaklı bağlantı da numunelerde kısıtlı lokal plastik şekil değişimi sonucu düşük süneklik performansı sergilemiştir. Ancak, kaynak dikişindeki sertliğin östenitik baz plaka sertliğine yakın olduğu ER309L dolgu teli ile üretilen bağlantı numuneleri daha yüksek süneklik performansını göstermiştir (%47).
- Her iki bağlantıdan çıkarılan hem yüzey hem de kök bükme numunelerinde çatlama gerçekleşmemiştir. Bu da kaynak kalitelerinin makul olduğunu göstermektedir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma kapsamında yürütülen metallografi çalışmaları, mikrosertlik ölçümleri ve mekanik testlerin (çekme ve bükme deneyleri) yapılmasındaki desteklerinden dolayı NOKSEL Çelik Boru



Sanayi A.Ş., İskenderun'dan Sedat UYSAL (Fabrika Müdürü), Tuğrul YAZGAN (Kalite ve Mekanik Laboratuvar Sorumlusu) ile Mekanik Laboratuvar çalışanları Erhan Zeytun ve Ferhat Gürler'e teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- [1] Balaji C, Kumar SVA, Kumar SA, R. Satish R, Evaluation of mechanical properties of SS 316 L weldments using tungsten inert gas welding, *Int J Eng Sci Technol*, 2012, 4, 2053-2057.
- [2] Karjalainen LP, Taulavuori T, Sellman M, Kyröläinen A, Some strengthening methods for austenitic stainless steels, *Steel Res. Int*, 2008, 79, 404-412.
- [3] Moteshakker A & Danaee I, Microstructure and corrosion resistance of dissimilar weld-joints between duplex stainless steel 2205 and austenitic stainless steel 316L, *Journal of Materials Science & Technology*, 2016;32:282-290.
- [4] Lippold JC & Kotecki DJ, 'Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels', John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 1st ed., 2005.
- [5] Çam G, 'Kaynak Bilimi ve Teknolojisi', Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2020:205-209.
- [6] Günen A, Gürol U, Koçak M, Çam G. A new approach to improve some properties of wire arc additively manufactured stainless steel components: Simultaneous homogenization and boriding, *Surface & Coating Technology*, 2023;460:129395.
- [7] Gürol U, Altınay Y, Günen A, Bölükbaşı ÖS, Koçak M, Çam G. -Effect of powder-pack aluminizing on microstructure and oxidation resistance of wire arc additively manufactured stainless steels, *Surface & Coatings Technology*, 2023;468:129742.
- [8] Ezer M & Çam G. A Study on microstructure and mechanical performance of gas metal arc welded AISI 304L joints, *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 2022;53(9):1043-1052.
- [9] Serindağ HT & Çam G. Multi-pass butt welding of thick AISI 316L plates by gas tungsten arc welding: Microstructural and mechanical characterization, *Int. J. Press. Ves. Pip.*, 2022;200:104842.
- [10] Serindağ HT & Çam G. Microstructural and mechanical characterization of gas tungsten arc welded 10 mm thick AISI 316L joints, *Düzce University Journal of Science & Technology*, 2022;10(4):1873-1889.
- [11] Ezer M & Çam G. Investigation of the microstructure and mechanical properties of gas metal arc welded AISI 304 austenitic stainless steel butt joints, *European Journal of Engineering and Natural Sciences (EJENS)*, 2020;5(1):43-5
- [12] Verma J & Taiwade RV. Effect of welding processes and conditions on the microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of duplex stainless steel weldments - A review, *Journal of Manufacturing Processes*, 2017;25:134-152.
- [13] Ramkumar KD, Singh A, Raghuvanshi S, Bajpai A, Solanki T, Arivarasu M, Arivazhagan N, Narayanan S, Metallurgical and mechanical characterization of dissimilar welds of austenitic stainless steel and super-duplex stainless steel—a comparative study, *J Manuf Process*, 2015, 19, 212-232.
- [14] Hu Y, Shi Y, Wang K, Huang J. Effect of heat input on the microstructure and mechanical properties of local dry underwater welded duplex stainless steel, *Materials*, 2023;16:2289.
- [15] Xie XF, Li JW, Jiang WC, Dong ZL, Tu ST, Zhai XN, Zhao X. Nonhomogeneous microstructure formation and its role on tensile and fatigue performance of duplex stainless steel 2205 multi-pass weld joints, *Mat. Sci. Eng. A*, 2020;786:139426.
- [16] Jeffs S, Douglas R, Beard W, Coleman M, Adams J, Jones T, Poole D, Lancaster R. Characterising the high temperature tensile behaviour of laser powder bed fused duplex stainless steel 2205 using the small punch test, *Mater. Charact.*, 2022;189:111953.
- [17] Higelin A, Le Manchet S, Passot G, Cisse S, Grocki J. Heat-affected zone ferrite content control of a duplex stainless steel grade to enhance weldability, *Welding in the World*, 2022;66:1503-1519.
- [18] Yang Y, Yan B, Li J, Wang J. The effect of large heat input on the microstructure and corrosion behavior of simulated heat affected zone in 2205 duplex stainless steel, *Corrosion Science*, 2011;53:3756–3763.

- [19] Jiang Y, Sun T, Li J, Xu, J. Evaluation of Pitting Behavior on Solution Treated Duplex Stainless Steel UNS S31803, *J. Mater. Sci. Technol.*, 2014;30:179-183.
- [20] Ibrahim OH, Ibrahim IS, Khalifa TAF. Effect of aging on the toughness of austenitic and duplex stainless steel weldments, *J. Mater. Sci. Technol.*, 2010;26:810-816.
- [21] Momeni A & Dehghani K. Effect of hot working on secondary phase formation in 2205 duplex stainless steel, *J. Mater. Sci. Technol.*, 2010;26:851-857.
- [22] Charles J. Corrosion resistance properties, in: I. Alvarez-Armas, S. Degallaix-Moreuil (Eds.), 'Duplex Stainless Steels', John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, USA 2013, pp. 47-114.
- [23] ISO 15156-3, Petroleum and natural gas industries - Materials for use in H<sub>2</sub>S-containing environments in oil and gas production - Part 3: Cracking-resistant CRA (corrosion-resistant alloys) and other alloys, 2003.
- [24] Chen L, Tan H, Wang Z, Li JM, Jiang Y. Influence of cooling rate on microstructure evolution and pitting corrosion resistance in the simulated heat-affected zone of 2304 duplex stainless steels, *Corros. Sci.*, 2012;58:168-174.
- [25] Vinoth Jebaraj A, Ajaykumar L, Deepak CR, Aditya KVV. Weldability, machinability and surfacing of commercial duplex stainless steel AISI2205 for marine applications – a recent review, *Journal of Advanced Research*, 2017;8:183-199.
- [26] Muthupandi V, BalaSrinivasan P, Shankar V, Seshadri SK, Sundaresan S. Effect of nickel and nitrogen addition on the microstructure and mechanical properties of power beam processed duplex stainless steel (UNS 31803) weld metals, *Mater Lett.*, 2005;59:2305-2309.
- [27] Chaudhari AN, Dixit K, Bhatia GS, Singh B, Singhal P, Saxena KK. Welding behavior of duplex stainless steel AISI 2205: A review, *Mater Today Proc.*, 2019;18:2731-2737.
- [28] Karlsson L. Welding duplex stainless steels - A review of current recommendations, *Weld. World*, 2012;56:65-76.
- [29] Geng S, Sun J, Guo L, and Wang H. Evolution of microstructure and corrosion behavior in 2205 duplex stainless steel GTA-welding joint, *J. Manuf. Process.*, 2015;19:32-37.
- [30] Taban E and Kaluc E. Welding behaviour of duplex and super-duplex stainless steels using laser and plasma arc welding processes, *Weld. World*, 2011;55:48-57.
- [31] Ku JS, Ho NJ, and Tjong SC. Properties of electron beam welded SAF 2205 duplex stainless steel, *J. Mater. Process. Technol.*, 1997;63:770-775.
- [32] Ramkumar KD, Mishra D, Vignesh MK, Raj BG, Arivazhagan N, Naren SV, Kumar SS. Metallurgical and mechanical characterization of electron beam welded super-duplex stainless steel UNS 32750, *Journal of Manufacturing Processes*, 2014;16:527-534.
- [33] Saravanan S, Raghukandan K, Sivagurumanikandan N. Pulsed Nd: YAG laser welding and subsequent post-weld heat treatment on super duplex stainless steel, *Journal of Manufacturing Processes*, 2017;25:284-289.
- [34] Lai R, Cai Y, Wu Y, Li F, Hua X. Influence of absorbed nitrogen on microstructure and corrosion resistance of 2205 duplex stainless steel joint processed by fiber laser welding, *Journal of Materials Processing Technology*, 2016;231:397-405.
- [35] Ramkumar KD, Goutham PS, Radhakrishna VS, Tiwari A, Anirudh S. Studies on the structure–property relationships and corrosion behaviour of the activated flux TIG welding of UNS S32750, *Journal of Manufacturing Processes*, 2016;23:231-241.
- [36] Serindag HT & Çam G. Microstructure and mechanical properties of gas metal arc welded AISI 430/AISI 304 dissimilar stainless steels butt joints. *Journal of Physics: Conf. Series* 2021;1777:012047.
- [37] Serindağ HT & Çam G. Characterizations of microstructure and properties of dissimilar AISI 316L/9Ni low alloy cryogenic steel joints fabricated by GTAW, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2023;32: 7039-7049.
- [38] Küçükömeroğlu T, Aktarer SM, İpekoğlu G, Çam G. Investigation of mechanical and microstructural properties of friction stir welded dual phase (DP) steel, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2019;629:012010.
- [39] Küçükömeroğlu T, Aktarer SM, İpekoğlu G, Çam G. Mechanical properties of friction stir welded St 37 and St 44 steel joints, *Materials Testing*, 2018;60(12):1163-1170.
- [40] Çam G, Yeni Ç, Erim S, Ventzke V, Koçak M. Investigation into properties of laser welded similar and dissimilar steel joints, *Sci. Technol. Weld. Join.*, 1998;3(4):177-189.

- [41] İpekoğlu G, Küçükömeroğlu T, Aktarer SM, Sekban DM, Çam G. Microstructural characterization and mechanical properties of St37/St52 plates joined by friction stir welding, *Fen ve Mühendislik Dergisi, Dokuz Eylül Üniv.*, 2018;20(59):471-480.
- [42] Serindağ HT, Tardu C, Kirçiçek İÖ, Çam G. A study on microstructural and mechanical properties of gas tungsten arc welded thick cryogenic 9% Ni alloy steel butt joint, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2022;37:1-10.
- [43] Şenol M. & Çam G. Investigation into microstructures and properties of AISI 430 ferritic steel butt joints fabricated by GMAW, *Inter. J. Press. Ves. Pip.*, 2023;202:104926.
- [44] Hsieh CC, Lin DY, Che MC, Wu W. Precipitation and strengthening behavior of massive  $\delta$ -ferrite in dissimilar stainless steels during massive phase transformation, *Mater. Sci. Eng. A*, 2008;477(1-2):328-333.
- [45] Shojaati M & Beidokhti B. Characterization of AISI 304/AISI 409 stainless steel joints using different filler materials, *Construction and Building Materials*, 2017;147:608-615.
- [46] Ertek Emre, H., Kaçar, R., Bülbül, A. & Manisalı, B. AISI 316L-AISI 2205 farklı paslanmaz çelik çiftinin kaynak kabiliyeti, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2017;6(1):244-256.
- [47] Wahid A, Olson DL, Matlock DK. Corrosion of weldments; *ASM Handbook*, ASM International, 1993, vol. 6, pp. 1065-1069.
- [48] Geng S, Sun J, Guo L, Wang H. Evolution of microstructure and corrosion behavior in 2205 duplex stainless steel GTA-welding joint, *J Manuf Process*, 2015;19:32-37.
- [49] Rahmani M, Eghlimi A, Shamanian M. Evaluation of microstructure and mechanical properties in dissimilar austenitic/super duplex stainless steel joint, *J. Mater. Eng. Perform.*, 2014;23:3745-3753.
- [50] Kumar R, Bhattacharya A, Bera TK. Mechanical and metallurgical studies in double shielded GMAW of dissimilar stainless steels. *Mater Manuf Process.*, 2015;30(9):1146-1153.
- [51] BalaSrinivasan P, Muthupandi V, Dietzel W, Sivan V. Microstructure and corrosion behavior of shielded metal arc-welded dissimilar joints comprising duplex stainless steel and low alloy steel, *J. Mater. Eng. Perform.*, 2006;15:758-764.
- [52] Ramkumar KD, Bajpai A, Raghuvanshi S, Singh A, Chandrasekhar A, Arivarasu M, Arivazhagan N. Investigations on structure–property relationships of activated flux TIG weldments of super-duplex/austenitic stainless steels, *Mater. Sci. Eng. A*, 2015;638:60-68.
- [53] Ahmed MMZ, El-Sayed Seleman MM, Fydrych D, Çam G. Friction stir welding in the aerospace industry: The current progress and state-of-the-art review, *Materials*, 2023;16:2971.
- [54] Çam G, Javaheri V, Heidarzadeh A. Advances in FSW and FSSW of dissimilar Al-alloy plates, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2023;37(2):162-194.
- [55] Çam G. Friction stir welding: A novel welding technique developed for Al-alloys, *Mühendis ve Makina*, 2005;46(541):30-39.
- [56] Çam G & İpekoğlu G. Recent developments in joining of aluminium alloys, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2017;91(5-8):1851-1866.
- [57] Kashaev N, Ventzke V, Çam G. Prospects of laser beam welding and friction stir welding processes for aluminum airframe structural applications, *Journal of Manufacturing Processes*, 2018;36:571-600.
- [58] Çam G. Friction stir welded structural materials: Beyond Al-alloys, *Int. Mater. Rev.*, 2011;56(1):1-48.
- [59] İpekoğlu G, Erim S, Gören Kırıl B, Çam G. Investigation into the effect of temper condition on friction stir weldability of AA6061 Al-alloy plates, *Kovove Mater.*, 2013;51(3):155-163.
- [60] Çam G, Güçlüer S, Çakan A, Serindağ HT. Mechanical properties of friction stir butt-welded Al-5086 H32 plate, *Mat.-wiss. U. Werkstofftech.*, 2009;40(8):638-642.
- [61] Yavuz H. & Çam G. Yeni bir kaynak teknolojisi: Sürtünme karıştırma kaynağı, *Endüstri ve Otomasyon*, 2001;51:18-20.
- [62] İpekoğlu G, Akçam Ö, Çam G. Effect of plate thickness on weld speed in friction stir welding of AA6061-T6 Al-alloys plates, *TMMOB Chamber of Mechanical Engineers, Proc. of Welding Technology 10th National Congress and Exhibition*, 17-18 November 2017, Ankara, Turkey, pp. 63-75.

- [63] İpekoglu G & Çam, G. The effect of temper condition on friction stir welding of dissimilar Al-alloys (AA6061/AA7075) plates, *Mühendis ve Makine*, 2012;53(629):40-47.
- [64] Dos Santos J, Çam G, Torster F, Insfran A, Riekehr S, Ventzke V, Koçak M. Properties of power beam welded steels, Al- and Ti-alloys: Significance of strength mismatch. *Welding in the World* 2000;44(6):42-64.
- [65] Yang YZ, Wang ZY, Tan H, Hong JF, Jiang YM, Jiang LZ, Li J. Effect of a brief post-weld heat treatment on the microstructure evolution and pitting corrosion of laser beam welded UNS S31803 duplex stainless steel, *Corros. Sci.*, 2012;65:472-480.
- [66] Muthupandi V, Bala Srinivasan P, Seshadri SK, Sundaresan S. Effect of weld metal chemistry and heat input on the structure and properties of duplex stainless steel welds, *Mater. Sci. Eng. A*, 2003;358:9-16.
- [67] Zhang Z, Jing H, Xu L, Han Y, Zhao L, Lv X. Effect of post-weld heat treatment on microstructure evolution and pitting corrosion resistance of electron beam-welded duplex stainless steel, *Corrosion Science*, 2018;141:30-45.
- [68] Mourad AHI, Khourshid A, Sharaf T. Gas tungsten arc and laser beam welding process effects on duplex stainless steel 2205 properties, *Mater. Sci. Eng. A*, 2012;549:105-113.
- [69] Kumar N, Mukharjee M, Bandyopadhyay A. Comparative study of pulsed Nd:YAG laser welding of AISI 304 and AISI 316 stainless steels, *Opt. Laser Technol.*, 2017;88:24-39.
- [70] Mirakhorli F, Ghaini FM, Torkamany MJ. Development of weld metal microstructures in pulsed laser welding of duplex stainless steel, *J Mater Eng. Perform.*, 2012;21(10):2173-2176.
- [71] Keskitalo M, Mäntyjärvi K, Sundqvist J, Powell J, Kaplan AFH. Laser welding of duplex stainless steel with nitrogen as shielding gas, *J Mater Proces Technol.*, 2015;216:381-384.
- [72] Arslan MM & Çam G. Gaz tungsten ark kaynaklı SAF 2205 paslanmaz çelik levhaların içyapı ve mekanik özelliklerine ısı girdisinin etkisinin belirlenmesi, 2. Uluslararası Hadde Sempozyumu, 14-15 Eylül 2023, İskenderun-Hatay, s. XXX-YYY.
- [73] Çam G, İpekoğlu G, Küçükömeroğlu T, Aktarer SM. Applicability of friction stir welding to steels, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering (JAMME)*, 2017;80(2):65-85.
- [74] Çam G, Özdemir U, Ventzke V, Koçak M. Microstructural and mechanical characterization of diffusion bonded hybrid joints, *J. Mater. Sci.*, 2008, Vol. 43 (Iss. 10), pp. 3491-3499.
- [75] İpekoğlu G. & Çam G. Formation of weld defects in cold metal transfer arc welded 7075-T6 plates and its effect on joint performance, *IOP Conf. Series: Mater. Sci. Eng.*, 2019;629:012007.
- [76] Çam G, Koçak M, Dobi D, Heikinheimo L, Siren M. Fracture behaviour of diffusion bonded bimaterial Ti-Al joints, *Sci. Technol. Weld. Join.*, 1997;2(3):95-101.

### **Muhammed M. ARSLAN**

Muhammed M. ARSLAN, 1995 doğumlu olup, 2013 yılında Süleyman Demirel Anadolu Lisesi'nden mezun olmuştur. 2019 yılında İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği lisans eğitimini tamamlamıştır. 2019-2020 yılları arasında hidrolik & pnömatik silindir imalatı yapan Pars Hidrolik firmasında (Payas-Hatay) makine mühendisi olarak görev yapmıştır. 2020-2022 yılları arasında Maksan Makine firmasında (İstanbul) pamuk temizleme makineleri imalatında Makine Mühendisi olarak görev yapmıştır. 2022-2023 yılları arasında Akon Çelik firmasında (Ceyhan-Adana) boru montaj projesinde proje mühendisi olarak görev yapmıştır. Şu anda ise Aba Çelik firmasında (Payas-Hatay) yardımcı tesisler mühendisi olarak görev yapmakta ve İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans yapmaktadır.

### **Gürel CAM**

Prof. Dr. Gürel ÇAM, 1964 doğumlu olup, Nisan 2015 tarihinden beri İskenderun Teknik Üniv., Makine Müh. Bölümünde çalışmaktadır. Doktorasını Şubat 1990 yılında İngiltere'de Imperial College of Science, Technology and Medicine'de Malzeme Bilimi dalında tamamlamıştır. 1994-1998 yılları arasında Almanya'da Hamburg yakınlarında Helmholtz Zentrum Geesthacht Araştırma

Merkezi'nde 4 yıl süre ile Ziyaretçi Araştırmacı olarak çalışmış ve bu süre zarfında çok sayıda Brite-Euram (Avrupa Birliği) projelerinde görev almıştır. Ayrıca, İskenderun Teknik Üniversitesinden önce sırasıyla Gaziantep Üniversitesi, Mersin Üniversitesi ve Mustafa Kemal Üniversitesi'nde görev yapmıştır. 64'ü Science Citation Index (SCI) veya Scopus tarafından taranan dergilerde olmak üzere toplam 105 dergi makalesi ve 11'i davetli sunum (invited or keynote lectures) olmak üzere 87 bildirinin yazarı veya ortak yazarı olup, uluslararası bir kitap bölümü yazmıştır. Ayrıca, 'Kaynak Bilimi ve Teknolojisi' adlı kitabı 2020 yılında Nobel Akademik yayınevi, Ankara tarafından basılmıştır. Yayınlarına Google Akademik'te 6700'den fazla atıf yapılmış olup, h-indeksi: 43'tür. Scopus'ta ise yayınlarına yapılan atıf sayısı 4950'in üzerinde olup; h-indeksi: 39'dur. Kaynak Bilimi ve Teknolojisi adlı kitabın yazarıdır. Araştırma ilgi alanları başta tel ark eklemeli imalat (wire arc additive manufacturing-WAAM) olmak üzere metal eklemeli imalat, sürtünme karıştırma kaynağı, difüzyon kaynağı, elektron ve lazer kaynağı gibi kaynak teknolojileri ve kaynaklı bağlantıların karakterizasyonu konularıdır.

**Farklı alüminyum alaşımlarının soğuk metal ark transfer kaynağında  
proses parametrelerinin etkilerinin incelenmesi**

***Sabire ASAAY***

*sabire.asaay@hunergroup.com.tr*

*Hünel Kalıp Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti, Bursa, Türkiye*

***Seyfettin COŞKUNSEVER***

*seyfettin.coskunsever@hunergroup.com.tr*

*Hünel Kalıp Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti, Bursa, Türkiye*

***Doç. Dr. Celalettin YÜCE***

*cyuce@uludag.edu.tr*

*Bursa Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü*

***Prof. Dr. Fatih KARPAT***

*karp@uludag.edu.tr*

*Bursa Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü*



## ÖZET

Alüminyum alaşımlarının kaynak edilmesinde uygun proses parametrelerinin belirlenmediği durumlarda mekanik özelliklerde düşüş ve kaynak dikişinde gözeneklilik gibi çeşitli sorunlar yaşanmaktadır. Bu nedenle uygulanacak kaynak yöntemindeki parametrelerin etkilerinin tespit edilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında iki farklı alüminyum alaşımının soğuk metal transfer ark kaynağında ark düzeltme katsayısı, ilerleme hızı, tel sürme hızı ve atım sıklığının etkisi incelenmiştir. Belirlenen proses parametrelerinin farklı seviyelerinde gerçekleştirilen kaynak denemeleri sonrasında bağlantının mukavemeti çekme testi ile belirlenmiştir. Ayrıca değişen parametrelere bağlı olarak makro yapı incelemeleri ile kaynak dikişinin geometrisindeki değişimler gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde ilgili parametrelerin belirlenen seviyelerinde penetrasyon ve kaynak dikiş genişliği üzerinde önemli etkilerinin olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Alüminyum, CMT kaynağı, Parametre etkisi, Makro yapı

## ABSTRACT

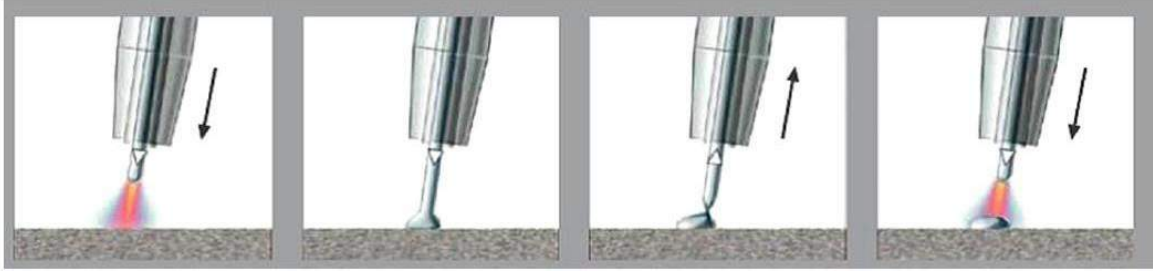
In cases where appropriate process parameters are not determined in welding aluminum alloys, various problems such as decrease in mechanical properties and porosity in the weld seam are experienced. For this reason, it is very important to determine the effects of the parameters in the welding method to be applied. In this study, the effects of arc correction coefficient, feed rate, wire feed rate and shot frequency in cold metal transfer arc welding of two different aluminum alloys were investigated. After the welding trials performed at different levels of the determined process parameters, the strength of the connection was determined by the tensile test. In addition, depending on the changing parameters, changes in the geometry of the weld seam were observed with the macro structure investigations. When the results obtained are examined, it has been determined that the relevant parameters have significant effects on the penetration and weld seam width at the determined levels.

**Keywords:** Aluminum, CMT Welding, Parameter effect, Macro structure

## 1. GİRİŞ

Alüminyum alaşımları, genellikle hafiflik, yüksek mukavemet ve korozyon direnci gibi üstünlükleri sebebi ile otomotiv sektöründe geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Alüminyum alaşımlarının kaynak edilebilirliği, bazı özelliklerinden dolayı çeşitli zorluklar içermektedir (Güngör ve ark., 2014). Öncelikle, alüminyumun yüksek termal iletkenliği, hızlı bir şekilde soğumasına ve kaynak işleminde istenmeyen termal gerilmelere neden olmaktadır. Ayrıca, alüminyumun oksitlenme eğilimi yüksek olduğu için, yüzeyinde oksit tabakası da gözlenebilmektedir. Bu durumda kaynak bölgesinde kaliteli bir kaynak dikişi için özel önlemlerin alınması veya özel kaynak yöntemlerinin kullanılması tercih edilmektedir.

Alüminyum alaşımlarının kaynağında yaygın olarak Soğuk Metal Transfer (CMT) ark kaynak yöntemi tercih edilmektedir. CMT kaynak yöntemi, alüminyum alaşımların kaynağında ortaya çıkan zorlukları aşmak için etkili bir çözüm sunmaktadır (Pang ve ark., 2016). CMT yönteminin temel prensibi, düşük akım ve düşük voltaj kullanarak arki düzenli olarak açıp kapatmasıdır. Bu sürekli açılıp kapanma işlemi, daha kontrollü bir metal transferi sağlayarak alüminyum alaşımının oksitlenmesini önler (Selvi ve ark., 2018). Ayrıca, CMT yönteminde ortaya çıkan düşük ısı girdisi ile alüminyum alaşımının hızlı soğuması sağlanır ve termal gerilmeler en aza indirilir. Böylece birleştirilecek parçalarda deformasyon riski azaltılmış olur. Özellikle hassas ve ince alüminyum parçaların kaynağında bu durum avantaj sağlamaktadır (Kumar ve ark., 2016).



**Şekil 1.** CMT kaynak yöntemindeki aşamaların şematik gösterimi (Güngör ve ark., 2014)

CMT kaynak yönteminde doğru elektrot seçimi, kaynak akımı, hız ve diğer parametrelerin ayarlanması başarılı bir alüminyum kaynağı için önemlidir. Bu yöntem ile ilgili literatürde yapılan çalışmalarda birçok farklı parametrenin bağlantının mekanik ve metalürjik özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Pickin ve Young CMT ve MIG kaynak yöntemlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında penetrasyon derinliğinin, metal yığma hızının CMT kaynak yönteminde daha iyi olduğunu göstermişlerdir (Pickin ve Young, 2006). Güngör ve ark. 5083-H111 ve 6082-T651 alaşımların kaynağında mekanik özellikleri incelemişler ve geleneksel gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerde CMT kaynaklı olanlara göre daha düşük çekme dayanımı elde etmişlerdir (Güngör ve ark., 2014). Pramod ve ark. 6061 serisi alüminyum alaşımları CMT kaynak yöntemi ile birleştirdikleri çalışmalarında 3.5 mm kalınlığındaki basınçlı kabın kaynağı için parametre optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir (Pramod ve ark., 2020). Kahraman ve ark. normal CMT ve Darbeli-CMT kaynak yöntemleri ile birleştirilmiş AA5754 kaynaklı bağlantıların mekanik özelliklerini incelemişler ve içyapılar ile ilişkilendirmişlerdir. Çalışma sonucunda nüfuziyet eksikliğinin görüldüğü numunelerde kopmanın kaynak dikişlerinde meydana geldiği, tam nüfuziyet olan numunelerde ise kopmanın esas metalde olduğu görülmüştür (Kahraman ve ark., 2018). Elrefaey ve Ross ER5356 ve ER4043 kaynak teli ile 6082-T4 ve 5182-O alüminyum alaşımlarını birleştirmiş ve en yüksek mekanik özelliklerin 5182 alaşımların ER5356 tel ile birleştirilmesinde elde edildiğini vurgulamışlardır (Elrefaey ve Ross, 2015).

Bu çalışmada CMT kaynak yöntemindeki önemli parametreler olan ark düzeltme faktörü, robot ilerleme hızı ve akımın kaynak dikişinin geometrisi (penetrasyon ve genişlik) ve kopma dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

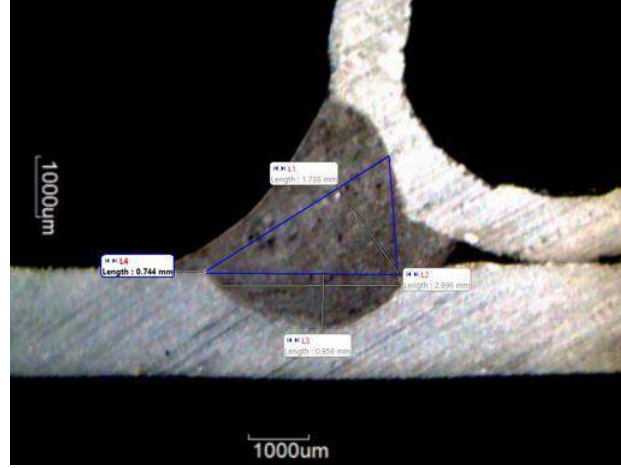
Çalışma kapsamında 1.2 mm et kalınlığına sahip EN AW 5754 boru ile 2 mm kalınlığında EN AW 3103 braket robotik CMT kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir (Şekil 2).



**Şekil 2.** Kaynaklı parça için örnek bir görüntü

CMT kaynağındaki önemli parametrelerden biri olan ark düzeltme faktörünün etkisini görmek adına 5 farklı seviyede (-10, -5, 0, 5, 10) kaynak gerçekleştirilmiştir. Bu parametre arkın uzunluğunu kontrol etmeye yöneliktir. Ark uzunluğu, elektrot ucunun iş parçasına olan mesafesini belirlemektedir. Ark uzunluğu düzeltme parametresi artırıldığında, ark uzunluğu da artar. Bu durum, daha düşük bir ısı girişi ve daha hassas bir kaynak sağlanabilir. Ayrıca, metal transferini kontrol etmek için kullanılan elektrot besleme hızı ve voltaj ayarlarıyla birlikte çalışarak istikrarlı bir ark sağlamaya yardımcı olur. Çalışmada etkisi incelenen diğer iki parametre ise akım ve robot ilerleme hızıdır. Bu iki parametre de kaynaktaki ısı girdisini doğrudan etkilemektedir. Akım için üç farklı seviye (60 A, 65 A ve 70 A), robot ilerleme hızı için üç farklı seviye (5 cm/dk, 15 cm/dk ve 25 cm/dk) denenmiştir. İlgili parametrelerin dışındaki tüm proses parametreleri denemelerde sabit tutulmuştur.

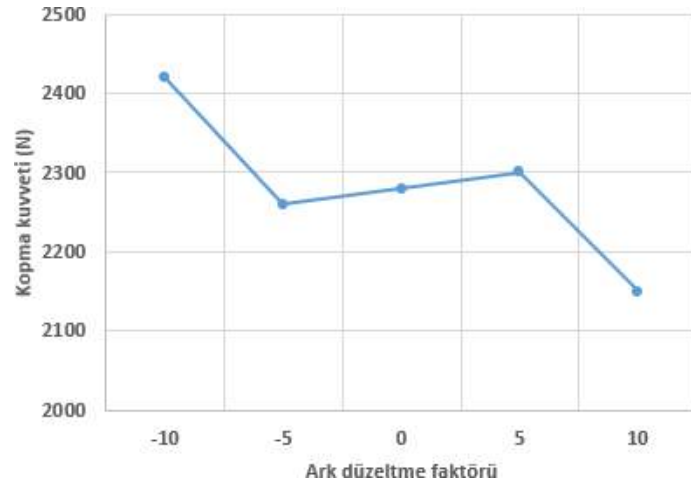
Birleştirilen boru ve braketler çekme koparma testine tabi tutularak mekanik dayanımları incelenmiştir. Çekme testi dışında makro yapı incelemeleri için kaynak bölgesinden kesit alınarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Örnek bir kesit görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir.



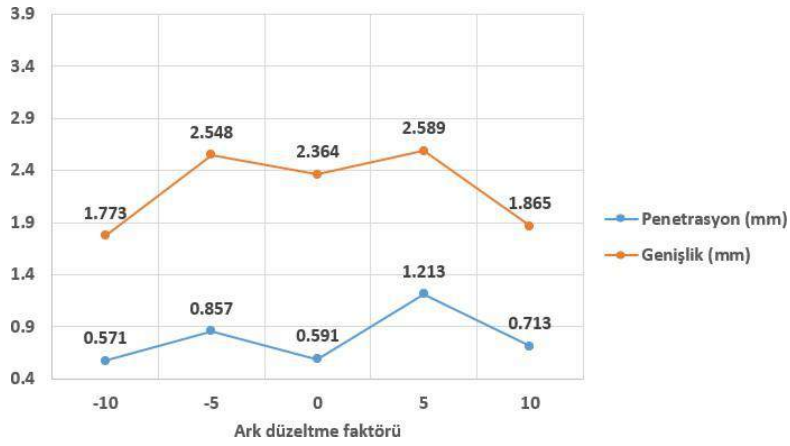
Şekil 3. Kaynak bölgesinden alınan bir kesit görüntü örneği

### 3. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada öncelikle 1.2 mm et kalınlığına sahip EN AW 5754 boru ile 2 mm kalınlığında EN AW 3103 braketin robotik CMT kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde 5 farklı ark düzeltme faktörü seviyesinin kopma dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan koparma testlerinde en yüksek dayanım 2420 N ile ark düzeltme faktörünün -10 seviyesinde olduğu kaynaklı numunede görülmüştür. En düşük kopma kuvveti ise ark düzeltme faktörünün +10 olduğu numunede 2150 N olarak görülmüştür (Şekil 4). Ark düzeltme faktörünün kaynak dikiş geometrisi üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Bu doğrultuda kaynak dikişinin genişliği ve penetrasyon miktarı ölçülmüştür. En düşük penetrasyon ve dikiş genişliğinin ark düzeltme faktörünün -10 olduğu numunede sırası ile 1.773 ve 0.571 mm olduğu görülmüştür. Beklenildiği gibi ark düzeltme faktörünün artması ile daha fazla malzeme akışı ve daha geniş bir kaynak havuzu oluşmuştur (Şekil 5).

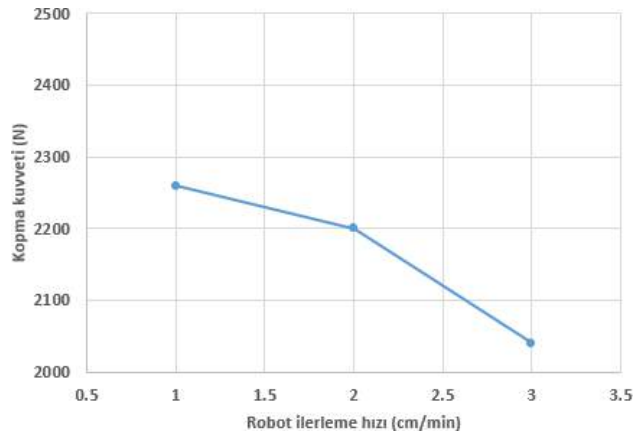


Şekil 4. Ark düzeltme faktörüne bağlı olarak kopma kuvvetindeki değişim

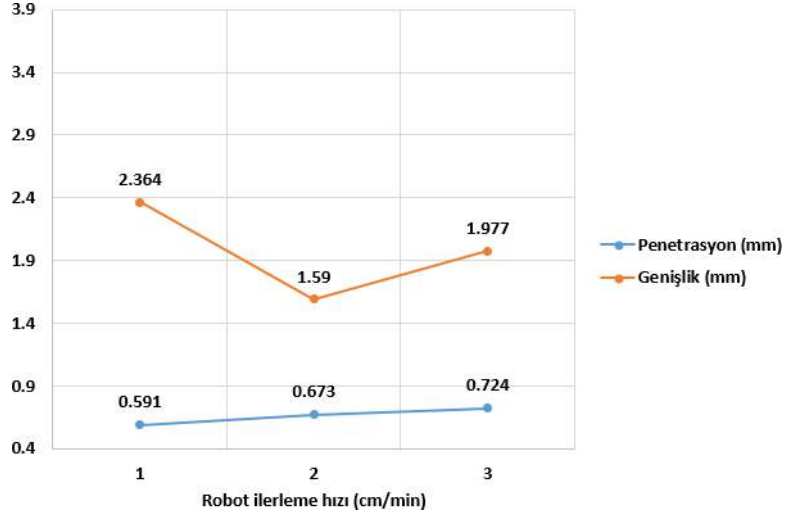


Şekil 5. Ark düzeltme faktörüne bağlı olarak kaynak geometrisindeki değişim

Üç farklı robot ilerleme hızının kopma kuvveti ve kaynak dikiş geometrisi üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Beklenildiği gibi diğer tüm parametreler sabitken artan robot ilerleme hızı ısı girdisini düşürmüş ve buna bağlı olarak kopma dayanımında düşüş gözlenmiştir (Şekil 6). Kaynak dikiş geometrisi incelendiğinde belirlenen aralıkta robot ilerleme hızının penetrasyon üzerindeki etkisinin kısıtlı olduğu gözlenmiştir. Dikiş genişliğinde ise artan ilerleme hızı ile azalma gözlenmiştir (Şekil 7)

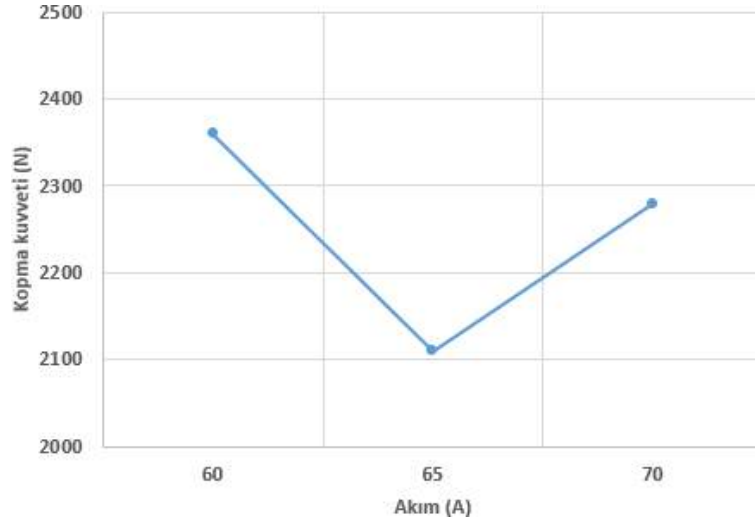


Şekil 6. Robot ilerleme hızına bağlı olarak kopma kuvvetindeki değişim

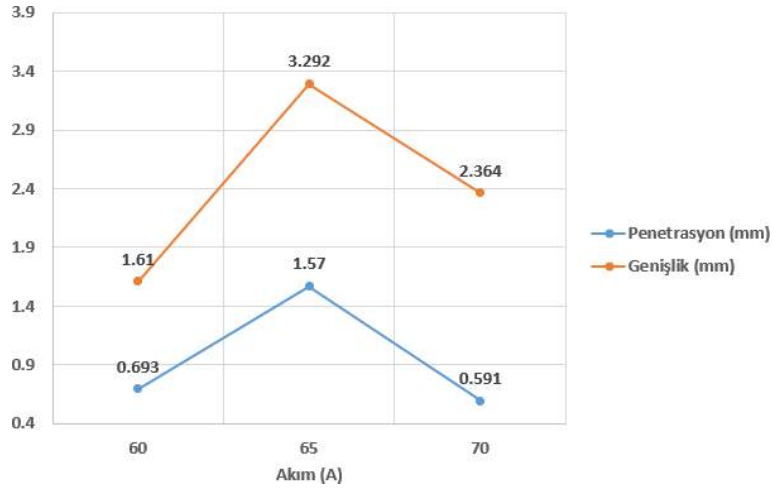


**Şekil 7.** Robot ilerleme hızına bağlı olarak kaynak geometrisindeki değişim

Çalışmada son olarak kaynak akımının bağlantının kopma kuvveti ve kaynak dikiş geometrisi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Üç farklı akım değerinde yapılan denemelerde en düşük kopma kuvveti 65 A değerindeki numunede 2110 N ile elde edilmiştir. Seçilen aralıkta akımın kopma kuvveti üzerindeki etkisi belirgin olarak gözlenmemiştir (Şekil 8). Kaynak dikiş geometrisi incelendiğinde yine aynı akım seviyesinde en yüksek penetrasyon ve dikiş genişliği olduğu tespit edilmiştir (Şekil 9). Bu numunede penetrasyon 1.57 mm, genişlik ise 3.292 mm olarak tespit edilmiştir.



**Şekil 8.** Kaynak akımına bağlı olarak kopma kuvvetindeki değişim



Şekil 9. Kaynak akımına bağlı olarak kaynak geometrisindeki değişim

#### 4. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada 1.2 mm et kalınlığına sahip EN AW 5754 boru ile 2 mm kalınlığında EN AW 3103 braketin robotik CMT kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde ark düzeltme faktörü, robot ilerleme hızı ve kaynak akımının bağlantının kopma kuvveti ve kaynak dikiş geometrisi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Seçilen parametre seviyelerinde kopma kuvveti ve kaynak dikiş geometrisinde belirgin bir etki oluşmadığı gözlenmiştir. En yüksek kopma kuvveti ark düzeltme faktörünün -10 seviyesinde olduğu numunede gözlenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda bu parametrelerin hem kopma kuvveti hem de kaynak dikiş geometrisi üzerinde önemli etkilerinin olduğu görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ön deneme kapsamında değerlendirilmiş olup detaylı parametre optimizasyonu çalışmaları devam etmektedir.

#### 5. REFERANSLAR

- Elrefaey, A., & Ross, N. G. (2015). Microstructure and mechanical properties of cold metal transfer welding similar and dissimilar aluminum alloys. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 28(6), 715–724. <https://doi.org/10.1007/s40195-015-0252-6>
- Gungor, B., Kaluc, E., Taban, E., & SIK Ş.Ş, A. (2014). Mechanical and microstructural properties of robotic Cold Metal Transfer (CMT) welded 5083-H111 and 6082-T651 aluminum alloys. *Materials and Design*, 54, 207–211. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.08.018>
- Kumar, N. P., Arungalai Vendan, S., & Siva Shanmugam, N. (2016). Investigations on the parametric effects of cold metal transfer process on the microstructural aspects in AA6061. *Journal of Alloys and Compounds*, 658, 255–264. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.10.166>
- Pang, J., Hu, S., Shen, J., Wang, P., & Liang, Y. (2016). Arc characteristics and metal transfer behavior of CMT + P welding process. *Journal of Materials Processing Technology*, 238, 212–217. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.07.033>
- Pickin, C. G., & Young, K. (2006). Evaluation of cold metal transfer (CMT) process for welding aluminium alloy. *Science and Technology of Welding and Joining*, 11(5), 583–585. <https://doi.org/10.1179/174329306X120886>
- Pramod, R., Shanmugam, N. S., & Krishnadasan, C. K. (2020). Studies on cold metal transfer welding of aluminium alloy 6061-T6 using ER 4043. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 234(7), 924–937. <https://doi.org/10.1177/1464420720917175>



Selvi, S., Vishvaksenan, A., & Rajasekar, E. (2018). Cold metal transfer (CMT) technology - An overview. *Defence Technology*, 14(1), 28–44. <https://doi.org/10.1016/j.dt.2017.08.002>

Kahraman, F., Gençer, G.M., Yolcu, C., Kahraman, A.D., Dilbaz, M.E. (2018). Soğuk Metal Transfer (CMT) ve Darbeli Soğuk Metal Transfer (Darbeli CMT) Kaynak İşlemleri ile Birleştirilmiş AA5754 Alüminyum Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. *Dokuz Eylül University-Faculty of Engineering Journal of Science and Engineering*, 20(59), 201–211. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2018205949>

---

# SAF BAKIR PLAKALARIN KAYNAKLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Okan BENGÜL

<sup>1</sup>Makina Mühendisi , Kaynak Mühendisi ,  
Tahribatsız Muayene Uzmanı (RT/MT/PT)  
Eti Bakır Mazıdağı İşletmesi Mazıdağı / Mardin , Türkiye  
E-Posta: [okan.bengul@etigubre.com](mailto:okan.bengul@etigubre.com)

## ÖZET

*Bu çalışmada , saf bakır malzemelerin kaynaklanabilirliği , kaynak sonrası mekanik testleri incelenmiş ve bakır malzemelerin kaynaklanabilmesi için uygun kaynak parametreleri tespit edilmiştir.*

*Eti Bakır Mazıdağı işletmesi içerisinde üretilen bakır plakaların kaynağı esnasında 2 farklı kaynak gazı ve 3 farklı ön ısıtma sıcaklıkları altında incelenmiştir. Seçilen kaynak gazı ve ön ısıtma sıcaklıklarında mukavemet değerlerinin nasıl değişkenlik gösterdiği çekme , eğme ve makro testleri esas alınarak incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı saf bakır malzemelerin kaynaklanabilirliğini artıran en uygun kaynak parametrelerini belirleyip etkin bir yol gösterici olması hedeflenmektedir.*

*Bu çalışma , Eti Bakır Mazıdağı işletmesi içerisinde bulunan kaynak atölyesinde yapılmış olup , mekanik testler Probo laboratuvarında yapılmıştır.*

**Anahtar Kelimeler:** Bakır malzemelerin kaynağı , Mekanik testler , Tahribatsız ve tahribatlı muayeneler

## ABSTRACT

*In this study, weldability of pure copper materials, post-weld mechanical tests were examined and suitable welding parameters were determined for copper materials to be welded.*

*Copper plates produced in Eti Bakır Mazıdağı facility can be kept under 2 different welding gases and 3 different preheating temperatures during welding. Tensile, bending and macro tests are based on how the strength values vary in the selected welding gas and preheat temperatures. The aim of this service is to increase the weldability of pure copper materials and to be an effective guide by determining the appropriate welding parameters.*

*This study was carried out in the welding workshop within the Eti Bakır Mazıdağı facility, and the mechanical tests were carried out in the Probo laboratory.*

**Keywords:** Welding of copper materials , Mechanical tests , Non-destructive and destructive tests

## 1. GİRİŞ

Bakır , kimyasal olarak oksijenle çabuk reaksiyona girebilen , ısıyı ve elektriği en iyi ileten metallere dendir. Bazı alaşımların ( silis , fosfor vb.) bakıra eklenmesiyle oksijeni giderilmiş bakır elde edilir. Bakırın içerisine eklenen bu alaşımlar oksijenin bakırla birleşerek tane sınırlarında bakır-oksit oluşumunu engeller. Çok yumuşak olan malzeme , bakır oksitlerin tane sınırlarında birikmesiyle sünekliğini kaybeder. 705°C nin üstünde karbonmonoksit ve hidrojen emilimi ve bakır oksit ile reaksiyonu sonucunda karbondioksit ve su buharı oluşur. Bu durum iç çatlaklara ve kırılmalığa neden olur.

Bakırın oksijene eğilimi kaynağı zorlaştıran bir çok faktörden en önemlisidir. Bakırın ısı iletkenliğinin yüksek olmasından dolayı , bakırın kaynağı esnasında kaynak bölgesine yakın bölgeler ısıyı verildiği hızda çeker. Yakındaki metal , yeteri kadar ısınmadan kaynak bölgesi ergime noktasına ulaşamaz. Bu durumda kaynak öncesi ön ısıtma yapılması gerekmektedir. Bakır aynı zamanda çelikten daha yüksek genleşme katsayısına sahip olduğundan bakırın ısıtılırken çok genişleneceği ve soğurken de çok çekeceği anlamına gelir. Bu durum kaynak yaparken operatörlerin sürekli karşılaştıkları çekme ve kaynak çatlağı probleminin önemini gösterir. Bu problem bakırın 260 °C nin üzerinde çekme mukavemetinin çok hızlı düşmesiyle de daha da kritik bir hal alır.

## 2. UYGULAMA METODU VE TESTLER

Uygulama için Eti Bakır Mazıdağı işletmesi içerisinde bakır üretimi yapılan bakır ünitesinden plakalar alınmıştır. İşletme birimlerinin ürettiği plakalardan 5 mm lik plaka seçilmiş olup , daha ince üretilen plakadan kaynak teli üretimi yapılmıştır.

Uygulama esnasında 2 farklı kaynak gazı ve 3 farklı ön ısıtma sıcaklıkları belirlenmiştir ve mekanik testler sonrası kaynak kalitesi incelenmiştir. Belirlenen gazlar saf Argon ve Saf Helyum gazlarıdır. Ön ısıtma sıcaklıkları 250°C , 350°C ve 500 °C olarak belirlenmiştir. Argon gazında sadece 250 ve 500 derece sıcaklıklarda ön ısıtma yapılmıştır. Plakalar EN standardına göre 150x200 mm olacak şekilde kesilmiş olup V kaynak ağızı açılmıştır. Kaynak esnasında DC , darbeli akım kullanılarak kaynak yapılmıştır. Kaynak öncesi ön ısıtmalar ısıölçer ile ölçülmüştür.



Resim 1 : Kaynak öncesi ve ön ısıtma esnasındaki uygulama



Resim 2 : Kaynak öncesi ve ön ısıtma esnasındaki uygulama

Kaynak öncesi yapılan ön ısıtmalardan dolayı bakır plaka çok çabuk oksitlendiği için , kaynak öncesi hızlı bir şekilde çanak fırça ile temizliği yapıldıktan sonra kaynağa başlanmıştır.

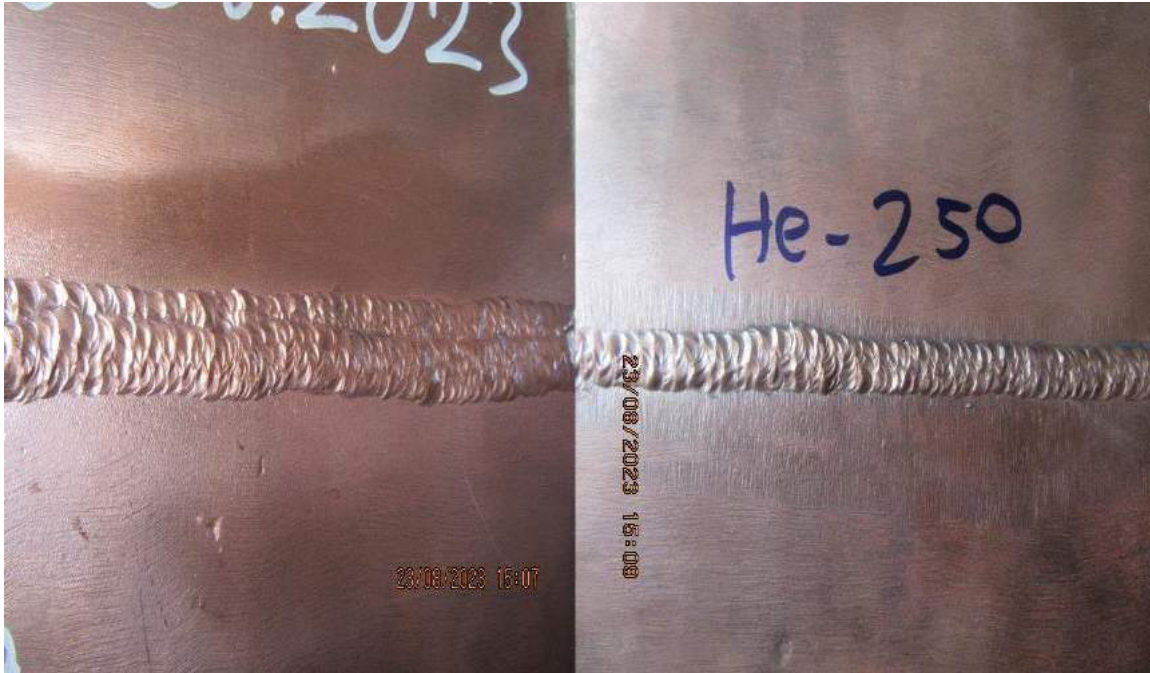


Resim 3 : Ön ısıtma sonrası oksit tabakanın temizliği



## 2.1. Kaynak sonrası görsel muayane uygulaması

Uygulama öncesi seçilen koruyucu gaz ve ön ısıtma sıcaklıklarında tamamlanan kaynaklarda görsel muayeneler yapılmış olup , en iyi kaynak dikişinin Helyum gazı – 500 °C ön ısıtma sıcaklığında elde edildiği görülmüştür.

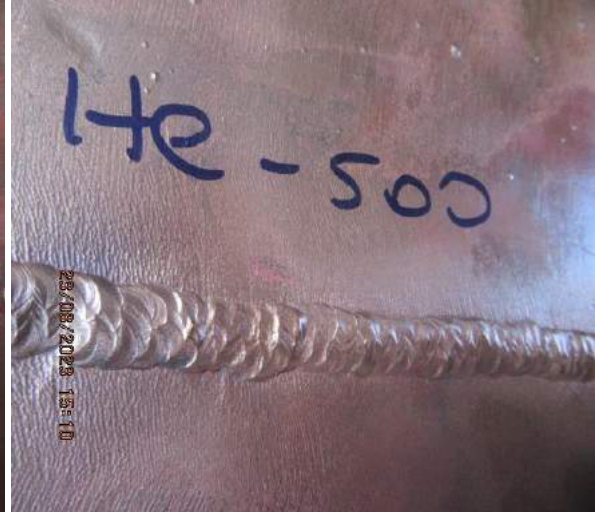


Resim 4 : He-250 numaralı plakanın kaynak görüntüsü



Resim 5 : He-350 numaralı plakanın kaynak görüntüsü

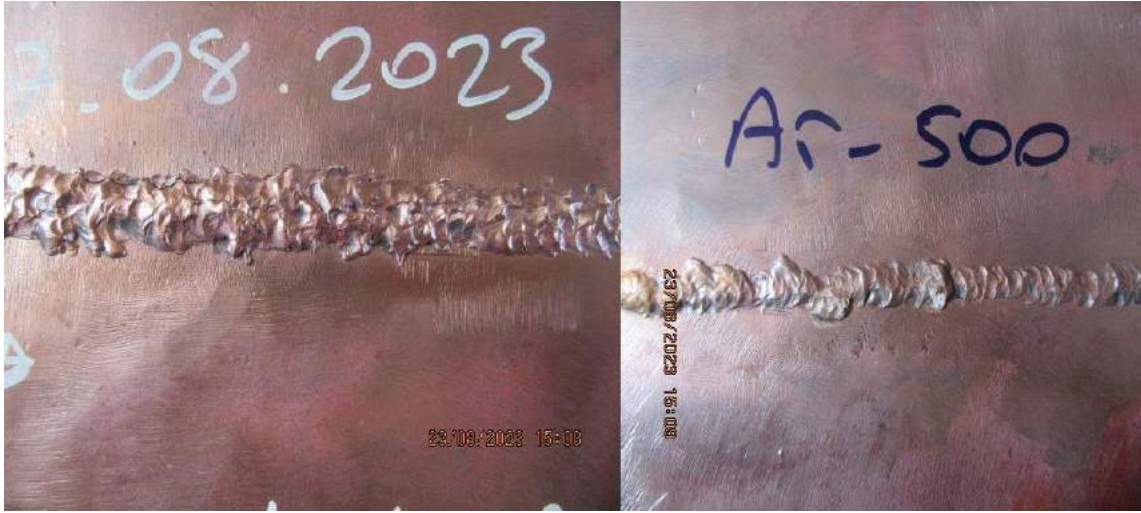
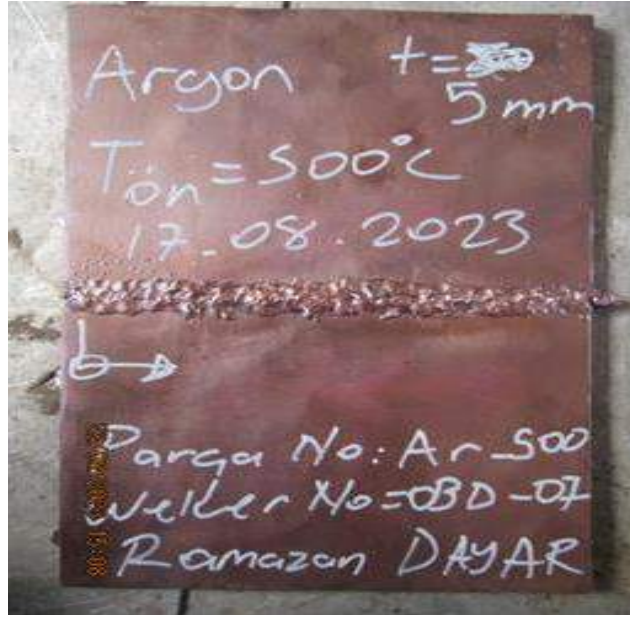




Resim 6 : HE-500 numaralı plakanın kaynak görüntüsü



Resim 7 : Ar-250 numaralı plakanın kaynak görüntüsü



Resim 8 : Ar-500 numaralı plakanın kaynak görüntüsü

## 2.2 Kaynak sonrası tahribatlı muayene kontrolü – Makro Test

Tüm plakalarda birer adet çekme , birer adet kep ve kök eğme ve makro testi uygulanmıştır. Ar-250 ve Ar-500 numaralı parçalar test işlemleri için numune hazırlanması esnasında koptuğu için bu numaralı parçalarda sadece makro yapılabılmıştır.





Resim 9 : He-250 numaralı plakanın makro görüntüsü



Resim 10 : He-350 numaralı plakanın makro görüntüsü

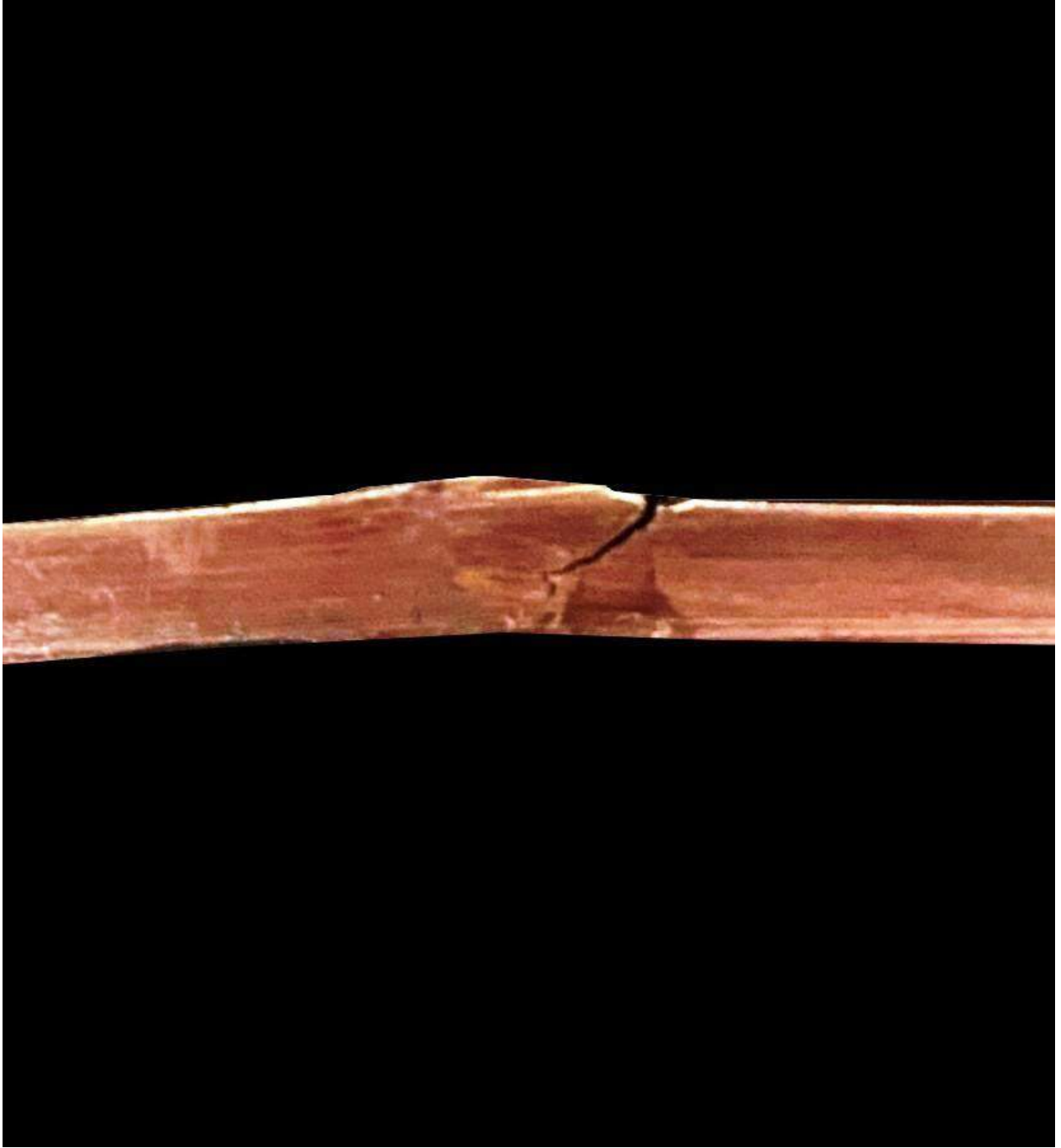


Resim 11 : He-500 numaralı plakanın makro görüntüsü





Resim 12 : Ar-250 numaralı plakanın makro görüntüsü



Resim 13 : Ar-500 numaralı plakanın makro görüntüsü

---

### 2.3 Kaynak sonrası tahribatlı muayene kontrolü – Çekme ve Eğme Testi

Ar-250 ve Ar-500 numaralı parçaların numune hazırlanması esnasında kırılmalar yaşandığı için sadece He-250 , He-350 , He-500 numaralı parçalarda çekme ve eğme testi yapılmıştır.

He-250 numaralı parçanın sonuçları ;

- Çekme dayanımı 90.6 N/mm<sup>2</sup>
- % uzama miktarı 7.1
- Kep Eğme – Eğme açısı 180 tespit edilen çatlak L1=3,65 mm
- Kök Eğme – Eğme açısı 180 tespit edilen çatlak L1=20 mm

He-350 numaralı parçanın sonuçları ;

- Çekme dayanımı 159.0 N/mm<sup>2</sup>
- % uzama miktarı 14.3
- Kep Eğme – Eğme açısı 180 tespit edilen çatlak L1=3.07 mm , L2=1.8 mm , L3=1.5 mm
- Kök Eğme – Eğme açısı 180 tespit edilen çatlak L1=20 mm

He-500 numaralı parçanın sonuçları ;

- Çekme dayanımı 156.2 N/mm<sup>2</sup>
- % uzama miktarı 14.3
- Kep Eğme – Eğme açısı 180 tespit edilen çatlak L1=8.07 mm , L2=5.3 mm
- Kök Eğme – Eğme açısı 180 tespit edilen çatlak L1=13 mm

### 3. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Eti Bakır Mazıdağı işletmemiz sınırları içerisinde yaptıracağımız bakır plakanın kaynağında seçilecek olan parametreler mekanik testlere göre incelenmiş olup , kıyaslama yapılarak belirlenmiştir. Tesisimiz içerisinde yapılacak olan kaynak basınç altında çalışmayacağı için yüksek mukavemet değerine sahip He-350 numaralı yöntemle yapılmasına karar verilmiştir. Koruyucu gaz saf Helyum , ön ısıtma sıcaklığı 350 °C olacak şekilde belirlenmiştir. Ön ısıtma sıcaklığı artırıldıkça mukavemet değerleri birbirine çok yakın çıkmış , kep kısmında eğme testinde oluşan çatlakların boyunun artmasına neden olmuştur. Ön ısıtma esnasında bakırın oksitlenmesinin önüne geçilememesi sorunları devam etmekte olup , bu operasyonel şartlara göre kaynak yapılması sağlanmıştır.

### 5. KAYNAKLAR

[1] Magmaweld kaynak kitabı .

[2] <http://www.etigubre.com> – Bakır üretim tesisleri , bakır plaka özellikleri

# Malzemelerde İçyapının nemi ve Mekanik zelliklerin İyapıya Göre Tahmin Edilmesi

Dr. Ersan GÖNÜL<sup>1</sup>, Makine Müh.(Ph.D. M.Sc.) ve Kaynak Müh.  
UT, RT, MT, PT, VT Seviye III

Burak BAYRAKTAROĞLU<sup>2</sup>, Makina Müh.(M.Sc.) ve Kaynak Müh.  
UT, RT, MT, PT, VT Seviye III

<sup>1</sup>TMMOB Makina Mühendisleri Odası Kaynak EĞitim ve Muayene Merkezi  
e-posta: [ersan.gonul@mmo.org.tr](mailto:ersan.gonul@mmo.org.tr)

<sup>2</sup>TMMOB Makina Mühendisleri Odası Kaynak EĞitim ve Muayene Merkezi  
e-posta: [burak.bayraktaroglu@mmo.org.tr](mailto:burak.bayraktaroglu@mmo.org.tr)

Doğru malzeme kullanımı ve bu malzemelerin uygun yöntemler ile birleştirilmesi kaynaklı imalatta dayanımı etkileyen en önemli parametrelerdendir. Malzemenin mekanik özellikleri ve yapısı kaynağın yapılabirliğini ve kaynaklı parçanın dayanımını etkilediğinden, yapılacak kaynaklı imalatın malzemeye göre şekillendirilmesi ve malzemenin özelliklerine göre süreç adımlarının atılması gerekir. Kimyasal kompozisyon, sertlik özellikleri ve akmaekme dayanımı gibi mekanik özellikler, kaynaklı imalatta malzemenin davranışını belirleyen önemli mekanik özelliklerdendir. Bu sebepten dolayı kaynaklı imalatta kullanılacak malzemelerin özelliklerinin, mekanik testler ile ortaya çıkarılması önemlidir. Bununla birlikte mikro test ile malzeme içyapı incelemesi, malzeme ve malzeme özellikleriyle ilgili bilgi verir. Hassas ve doğru adımlar uygulanarak yapılmış bir mikro test ile birçok malzeme özelliği hakkında ipucu elde edilebilir. Bu bildiride çeşitli malzemelerin içyapıları incelenerek bu malzemelerdeki mekanik özellikler tahmin edilmeye çalışılacaktır. Elde edilen sonuçlar, yapılan mekanik test sonuçları ile karşılaştırılacak ve ortaya çıkabilecek sapmalar hakkında bilgi verilecektir. Yapılan çalışmanın avantaj ve dezavantajları hakkında çıkarımlarda bulunulacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Kaynaklı İmalat, Malzemedeki İçyapı, Mikro Test, Tahribatlı Test, Mekanik zellikler

## 1. GİRİŞ

İmalat, bir yarı mamulün veya mamulün oluşturulmasını ve muayenesini kapsamaktadır. Dolayısı ile imalatta oluşturulan ürünün muayenesi yapılmadan, özellikleri belirlenmeden imalat tamamlanmış sayılamaz. Bununla birlikte işletme aşamasında kullanılan birçok ekipmanın zaman içerisindeki mekanik özelliklerindeki değişim, yorulma durumları, yapılan tadilatlardaki etkiler gibi durumlar incelenmeli ve kontrol altında tutulmalıdır. İmalat, imalat sonrası ve işletme aşamasında olan ekipmanların, durumlarının tespiti, bunların uygunluğu ve kontrolü önemli olup malzeme muayeneleri bu konuda uygulanması gereken bir adımdır.

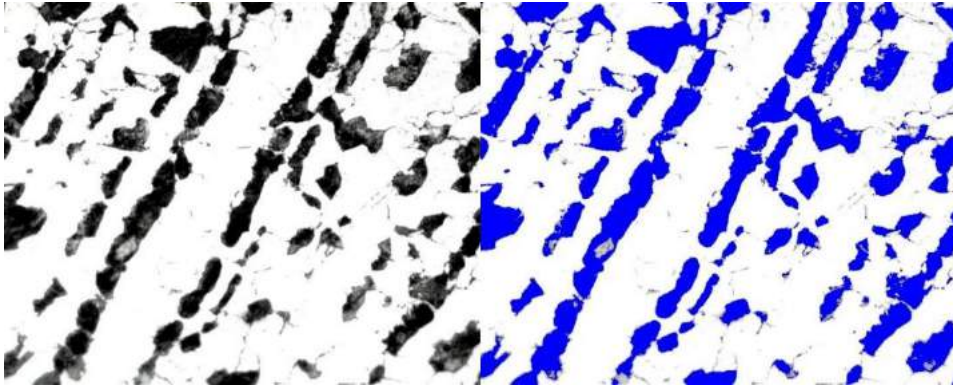
Malzeme muayenesi tahribatlı ve tahribatsız olarak iki gruba ayrılmaktadır. Muayene hangi grupta olursa olsun muayenenin, dolayısıyla imalatın ekonomik ve güvenilir olması bakımından muayenede en uygun yöntemin seçilmesi ve bunun için de grup içindeki birbirlerine alternatif olabilecek muayene yöntemlerinin bilinmesi gerekir.

Malzemelerin sertlik, süneklik ve mukavemet gibi temel mekanik özellikleri içyapılarına bağlıdır. Bu nedenle malzemelerin içyapı ve özellikleri iyi bilinmelidir. Bu özelliklerin tespiti birtakım mekanik deneylerle yapılabilir. Tahribatlı muayene; malzemelerin çekme, basma, eğilme, vb. kalıcı şekil değişikliklerine karşı göstereceği direnci ve dayanımı belirlemek için uygulanan muayene yöntemleridir. Bu muayene yönteminde, örnek olarak alınan numune bilinmesi istenen özelliğine göre teste ve incelemeye tabi tutulur. Yapılan testlere göre mekanik özellikleri belirlenerek raporlanır. Tahribatlı muayene yöntemleri, imalat öncesi malzeme ve üretim yöntemlerinin durumunu belirlemek için, seri üretimi yapılacak fakat daha servise alınmamış makina elemanları için, işletme aşamasındaki ekipman/konstrüksiyonlar için veya hasar sonucu servis dışı kalmış ekipmanlar/yapılar için kullanılan yöntemlerdir.

Bu çalışmada aşağıdaki tahribatlı muayene yöntemleri üzerinde durulmuştur;

- 1) Çekme Testi
- 2) Sertlik Testi
- 3) Spektral Analiz
- 4) Mikro İçyapı İnceleme

Seçilen numunelerin önce mikro içyapıları incelenmiş olup, iki fazlı yapılarından ferrit-perlit oranları belirlenmiştir. Bu oranlardan yola çıkarak mekanik değerler hesaplanmıştır. Ardından mekanik testlerden elde edilen veriler ile karşılaştırılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır. Çalışmaların tamamı TMMOB Makina Mühendisleri Odası Kaynak Eğitim ve Muayene Merkezi Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1-Mikro içyapının bilgisayar yardımıyla incelenmesi

## 2. TAHRİBATLI MUAYENE YÖNTEMLERİ

Tahribatlı test, bir makinenin, bileşenin veya malzemenin performansını veya davranışını anlamak için kullanılan bir test yöntemidir. Bu süreç boyunca, söz konusu numune, malzeme deformasyonu veya tahribatı nedeniyle sonunda başarısız olana kadar sürekli gerilime maruz kalır. Tahribatlı test süreci ya belirli prosedürleri takip edebilir ya da belirli hizmet koşullarını oluşturmaya yönelik olabilir.

Tahribatlı testler genellikle sürekli kayıt yapan ekipmanlar ile desteklenir. Yapılan kayıtlar ile veriler toplanır. Böylelikle bu veriler ile malzemenin test boyunca göstermiş olduğu davranış incelenir çıkarımlar elde edilir. Bu veriler sayesinde malzemenin kullanım için uygunluğu veya kullanımda göstereceği davranışı değerlendirilir.

Çoğu durumda, tahribatlı test yöntemleri, seri üretim başlamadan önce bileşenleri test eder. Tahribatlı testler, üretilecek ürünlerin sınırları hakkında fikir verir.

Tahribatlı testler geri dönüşü olmayan hasarlara neden olduğundan, test edilen ürün ve parçaları, tahribatlı testlerden sonra normal çalışmada yeniden kullanılamaz. Böylelikle istatistiksel veriler elde edilir ve kullanım durumu için fikir sahibi olunur.

Makineler her çalışma koşuluna uygun olmayan fiziksel ve kimyasal özelliklere sahiptir. Örneğin korozyona yatkın metaller nemli ortamlarda kullanıma pek uygun değildir. Tahribatlı testler, bu uyumsuzluklara ve potansiyel dezavantajlara işaret ederek ekipmanın veya malzemenin çalışma durumunda başarısız olmasını önler. Bazı endüstrilerde bu test yöntemi bir gerekliliktir ve mutlaka uygulanması istenir.

### 2.1. Çekme Testi

Çekme testi, üründen elde edilen bir numunenin koparılmasına kadar tek ekseninde çekme kuvveti uygulandığı bir tahribatlı test olarak bilinmektedir.

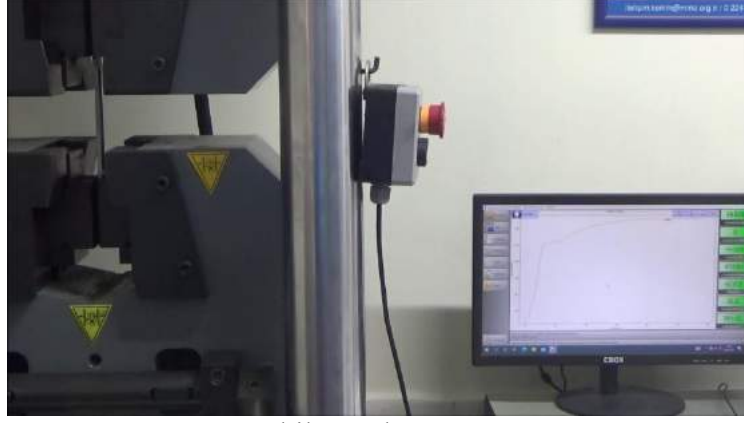
Bu yöntem ile önceden hazırlanmış ve ölçüleri belli olan bir deney numunesine devamlı artan bir kuvvet uygulanır. Numuneye uygulanan kuvvet, akma dayanımı denilen belli bir sınırın aşılması ile birlikte kalıcı uzamaya neden olur. Bu sınırın altındaki uzama kalıcı değildir. Kalıcı uzamanın olduğu bölgedeki şekil değişimi olayına plastik şekil değiştirme adı verilir. Bununla birlikte, malzemeye uygulanan kuvvetin etkisi kalktıktan sonra, malzemenin eski hâline dönmesi olayına elastik şekil değişimi denir.

Testten elde edilen sonuçlar herhangi bir uygulama için malzeme seçimi, kalite kontrol ve malzemenin diğer kuvvetler altında nasıl davranacağını tahmin etmek için kullanılır. Bu test yoluyla direkt elde edilen bilgiler; maksimum çekme gerilmesi, maksimum uzama ve alandaki azalmadır. Çekme Testi ile aşağıdaki bilgiler bulunabilir;

- Akma gerilmesi
- Çekme gerilmesi
- Kopma gerilmesi
- Maksimum uzama
- Alandaki azalmalar

Bu verilerden de malzemenin Young katsayısı, Poisson oranı, akma mukavemeti ve pekleşme gibi karakteristikleri elde edilebilir.





Şekil 2-Çekme Testi

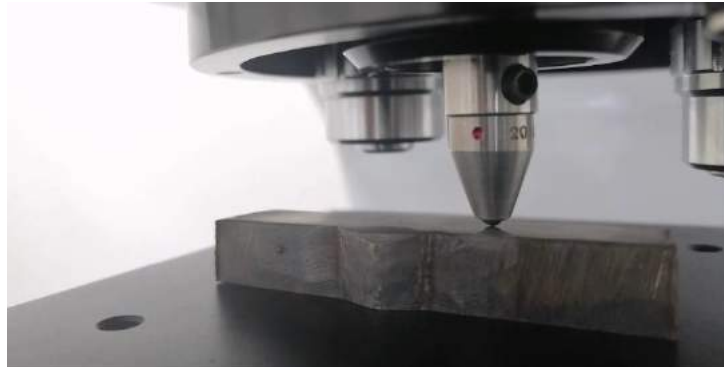
## 2.2. Sertlik Testi

Ürün numunelerinin üzerinde yapılan en yaygın deneylerden biri, malzemenin sertliğinin ölçülmesidir. Deneyin basit oluşu ve diğer mekanik deneylere nazaran numunenin daha az tahrip edilmesini, bu deneyin yaygın olarak kullanılmasının başlıca sebeplerindendir. Diğer önemli avantajı ise, bir malzemenin sertliği ile diğer mekanik özelliklerin arasında ilişkilendirme yapılabilmesidir. Örneğin çeliklerde, çekme mukavemeti sertlik ilişkilendirilebilir; dolayısıyla numune üzerinde gerçekleştirilen sertlik deneyleri sonucunda malzemenin mukavemeti hakkında fikir edinilebilir.

Genel olarak bakıldığında sertlik izafi bir ölçü olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısı ile sertlik sonuçları, malzemenin çizilmesine, kesmesine ve plastik deformasyona karşı direncine bağlanabilir. Laboratuvarlarda numunelere özel olarak cihazlarla yapılan sertlik testlerinde bulunan değerler, malzemenin plastik deformasyonuna karşı gösterdiği direnç olarak düşünülebilir.

Sertlik ölçümü, malzemeye bilinen miktardaki bir yük ile başka bir malzeme tarafından yük uygulanması, bastırılması ile ölçülebilir. Batıcı uç olarak elmas gibi sert malzemelerin kullanılmasıyla deformasyon sadece kuvvetin uygulandığı malzemede (test numunesi) sınırlı tutulur.

Vickers sertlik deneyi, tabanı kare ve tepe açısı  $136^\circ$  olan standartlaştırılmış piramit şeklinde bir elmas ucun, değişken yükler altında numune yüzeyine batırılması sonucu bir iz oluşturma esasına dayanır. Vickers sertlik deneyinin kullanım alanı çok geniştir. Çok yumuşak ve çok sert malzemeler için uygundur.



Şekil 3-Sertlik Testi

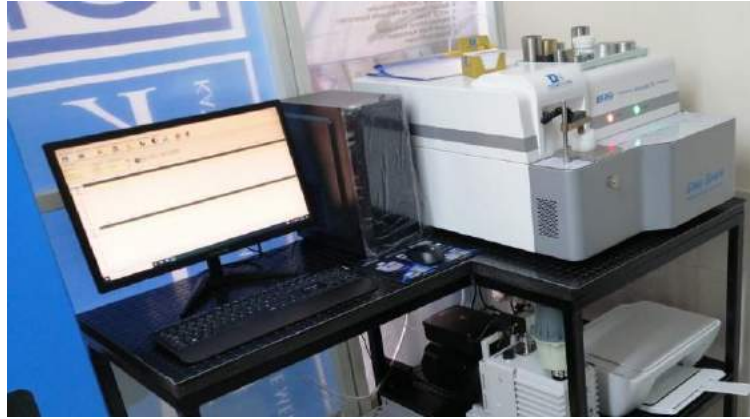
### 2.3. Spektral Analiz

Optik Emisyon Spektrometresi veya OES, farklı türdeki alaşımlara ait metallerin elemental düzeyde bileşimini belirlemek için kullanılan, güvenilen ve yaygın olarak kullanılan bir kimyasal analiz yöntemidir.

Optik emisyon spektrometrelerle analiz edilebilecek numuneler dökümden alınan kokil numunelerle gibi külçe, kütük, cıvata, çubuk, tel ve plaka gibi ürünler de olabilmektedir.

Bu cihazla ile malzeme içerikler tam olarak ayırt edilmekte olup malzeme kalitesi belirlenebilmektedir.

Malzeme kalitesinin belirlenmesi, hem proje ve imalat aşamasında hem de işletme aşamasında değerlendirme ve analiz için çok önemli bir adımdır.



Şekil 4-Spektral Analiz

### 2.4. Mikro İyapı İnceleme

Kaynak kalite kontrolünde ve malzeme teknolojilerinde metalografinin önemli bir yeri vardır. Özellikle kaynak yapısını tanımlarken kaynak metali, ısıdan etkilenmiş bölge ve orijinal metal gibi üç farklı yapı ön plana çıkar. Kaynak metali ve ısıdan etkilenmiş bölge incelendiğinde, bileşim, tane boyutu ve yönlenmesi, mikro yapı ve sertlikte değişimler görülebilir. Bu sebeple kaynaklı bölgenin mikro yapısında da önemli değişimler gözlemlenebilir. Bununla birlikte malzemelerin mikroyapı incelemesi ise, üretim aşamasından görmüş olduğu ısıl işleme ve işletme aşamasındaki durumuna kadar bizlere bilgi veren bir testtir.

Mikro Test, kaynaklı bir birleştirmede kaynak bölgesinden, malzemelerde ise incelenecek bölgeden alınan bir numunenin yüzeyinin kimyasallar yardımıyla dağlandıktan sonra büyütülerek mikroskop altında incelenmesiyle yapılan testtir. Yapılan işlem sonrasında malzemelerin mikroyapıları incelenir.

Makro Test yöntemi yardımıyla, köşe kaynaklarında boğaz yüksekliği, efektif boğaz yüksekliği, alın ve köşe kaynaklarında kaynak nüfuziyeti, çatlak, gözenek vb. süreksizlikler belirlenebilir. Kullanılan programlar yardımıyla belirtilerin boyutları ve penetrasyon miktarları da incelenebilir. Mikro Test yardımıyla, malzemelerin içyapıları, tane boyutları, taneler arası kusurlar, ısıl işlemleri, faz durumları gibi konularda bilgi edinilebilir.



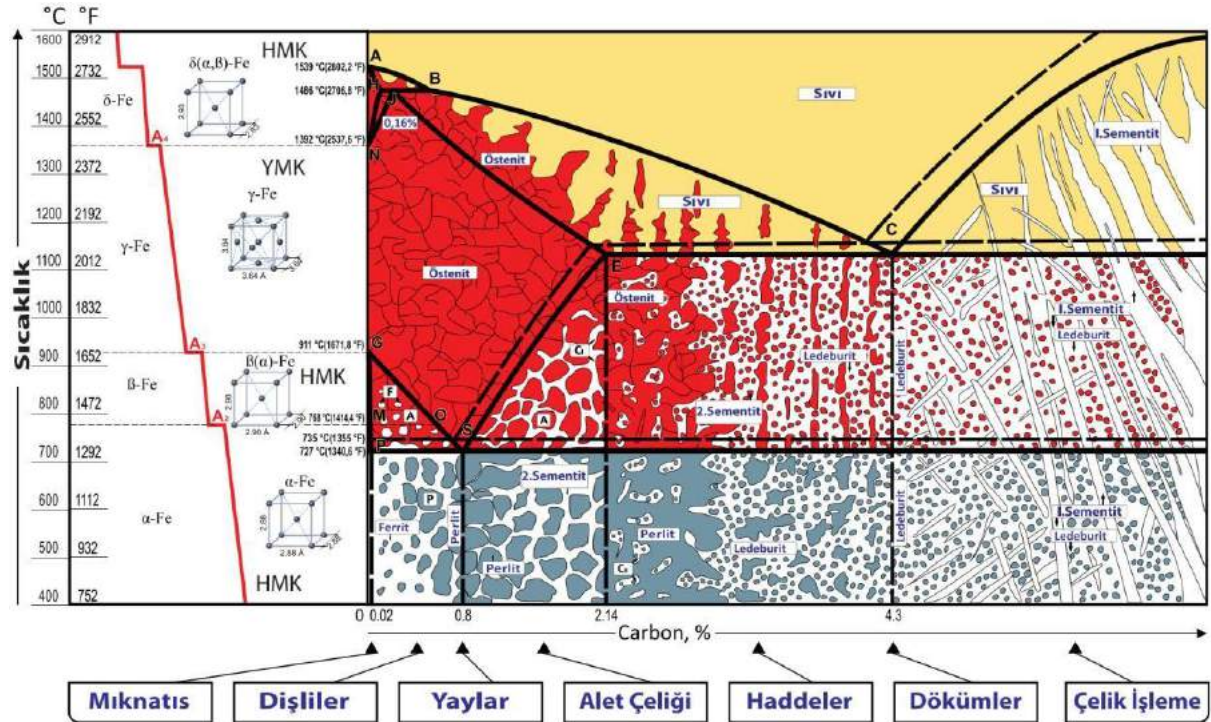
Şekil 5-Mikro İÇyapı İnceleme

### 3. YAPILAN ÇALIŞMA VE BULGULAR

#### 3.1.Karbon-Demir Denge Diyagramı

Demir-karbon faz diyagramı iki elementin denge diyagramıdır. Bu diyagram sayesinde karbon içeriği ile sıcaklık arasındaki ilişki türetilir ve faz bileşimi belirlenebilir. Karbon, demirin en önemli alaşım elementidir. Demir karbon faz değişimleri çeliğin mukavemet ve tokluk gibi mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilir. Demir Karbon Faz Diyagramını anlamak, mühendislere ve malzeme bilimcilerine, istenen özellikleri elde edecek şekilde çeliğin bileşimini ve ısıl işlemini uyarlama olanağı sağlar.

Artan karbon içeriği sertliği ve mukavemeti artırır ve sertleşebilirliği artırır. Ancak karbon aynı zamanda martenzit oluşturma eğiliminden dolayı kırılabilirliği artırır ve kaynaklanabilirliği azaltır. Bu, ticari çelik söz konusu olduğunda karbon içeriğinin hem bir avantaj hem de bir dezavantaj olabileceği anlamına gelir.



Şekil 6-Demir-Karbon Denge Diyagramı



Diyagrama baktığımızda her fazın ayrı bir kristal yapıya sahip olduğunu görürüz. Ancak karbon yüzdesi arttığında demir alaşımlarına yönelme eğiliminden bahsedebiliriz. Alaşımlar, saf demirden farklı olarak belirgin kristal yapılara sahip değildir. Birlikte alaşımın mikro yapısı olarak adlandırılan karakteristik tane ve tane sınırına sahiptirler. Östenitik demir, yüksek sıcaklıklardan soğutulduğunda soğuma süresine bağlı olarak farklı mikro yapılar oluşturur.

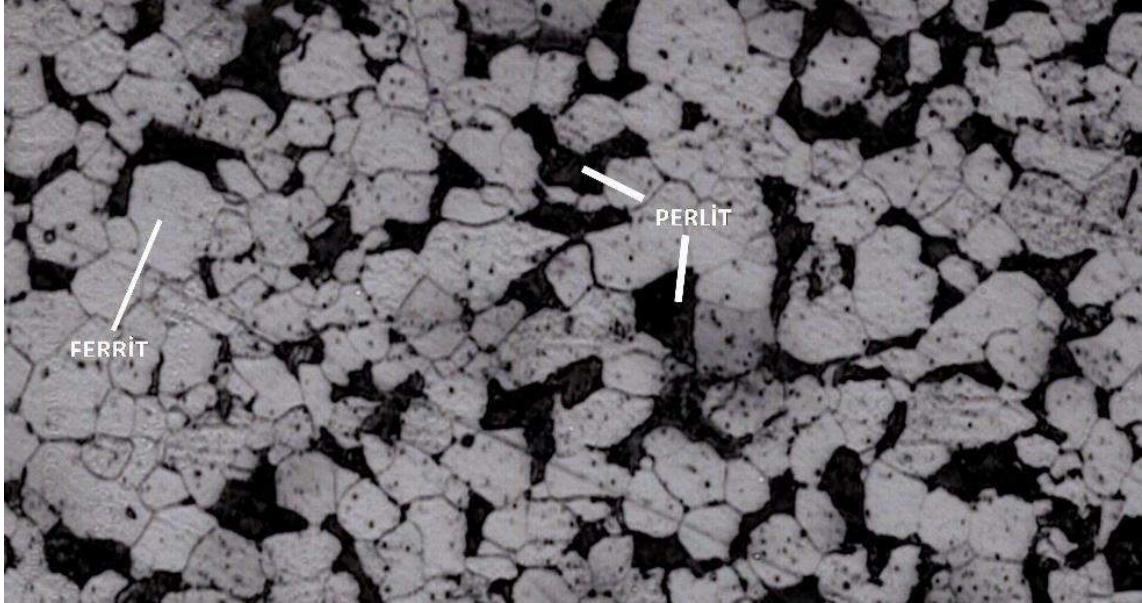
### 3.2. Çalışmanın İçeriği

Çalışma, 5 adet farklı kullanım amacı olan malzeme numunesi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu malzemeler seçilirken özellikle karbon oranının %0,8 bölgesinde kalan malzemeler üzerinden seçim yapılmıştır. Buradaki amaç Demir-Karbon Denge diyagramında özellikle bu bölgede ferrit ve perlit yapının bulunmasıdır.

Ferrit, oda sıcaklığında hacim merkezli kübik (HMK) kristal yapıya sahip, demirin katı bir çözelti fazıdır. Saf demirin oda sıcaklığında kararlı fazıdır. Düşük karbon içeriğine sahip (%0,022 civarına kadar) demir-karbon alaşımlarında mevcut birincil faz ferrittir.

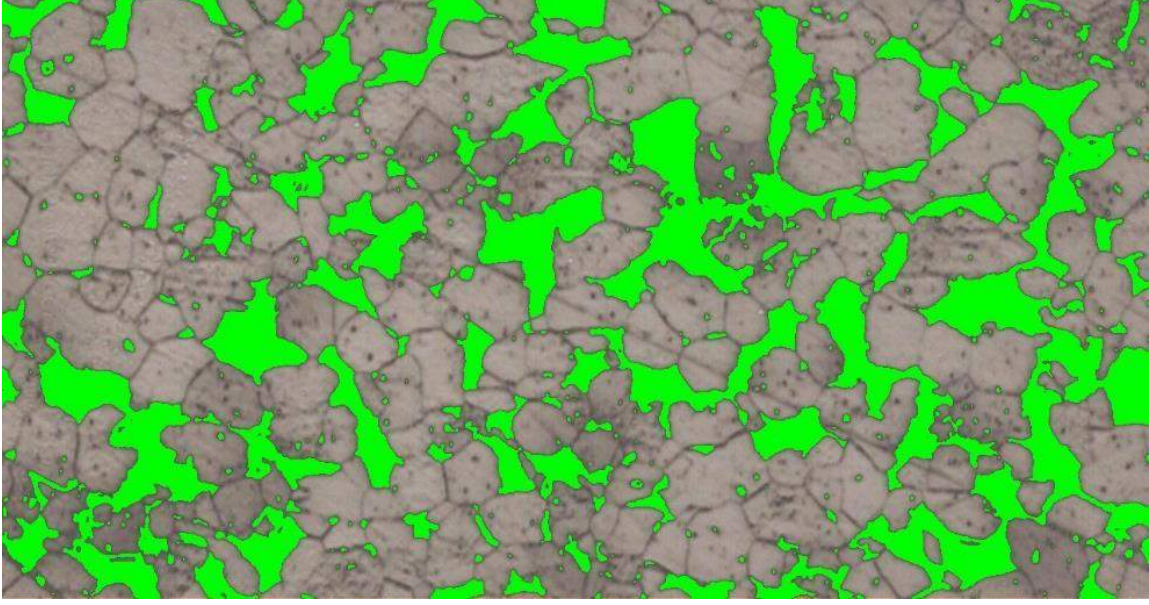
Perlit: Perlit, alternatif ferrit ve sementit katmanlarından oluşan ve yaklaşık % 0.8 karbon içeren ötektoid yapıdır. Perlit, katmanlı yapısıyla karakterize edilir ve çeliklerde yaygın bir mikro yapıdır.

Numune testlerinde ilk önce mikro içyapı incelemesi yapılmıştır. Seçilen numuneler özellikle demir karbon diyagramının %0,022 ile %0,8 karbon bölgesinde olduğu için ve herhangi bir ısıl işlem uygulanmadığından ferrit-perlit yapı incelemesi yapılmıştır.



Şekil 7-Mikro içyapıda Ferrit-Perlit yapı

Bu incelemede temel amaç, görüntüde işlem yaparak ferrit ve perlit yüzdesinin belirlenmesidir. Böylelikle toplam karbon yüzdesine geçiş yapılabilecek ve mekanik özellikler hakkında bilgi sahibi olunabilecektir.



Şekil 8- Ferrit-perlit oranının belirlenmesi

Burada önemli olan veriler, oda sıcaklığındaki ferrit ve perlitin mekanik özellikleri ve içyapı içinde barındırdıkları karbon oranlarıdır.

Tablo 1-Oda sıcaklığındaki Ferrit ve Perlitin temel alınan özellikleri

YAPI	KARBON ORANI (%)	ÇEKME GERİLMESİ (MPa)	SERTLİK (Vickers)
%100 PERLİT	0,008	900	220
%100 FERRİT	0,00008	300	120

Hesaplamalarda ise aşağıdaki formüller kullanılmıştır;

% C Oranı = (%Ferrit Oranı) x (% 100 Ferrit C Oranı) + (% Perlit Oranı) x (% 100 Perlit C Oranı)

Numune Gerilme Değeri (Çekme) = (%Ferrit Oranı) x 300 MPa + (% Perlit Oranı) x 900 MPa

Numune Sertlik Değeri (Vickers) = (%Ferrit Oranı) x 120 HV + (% Perlit Oranı) x 220 HV

### 3.3. Elde Edilen Bulgular

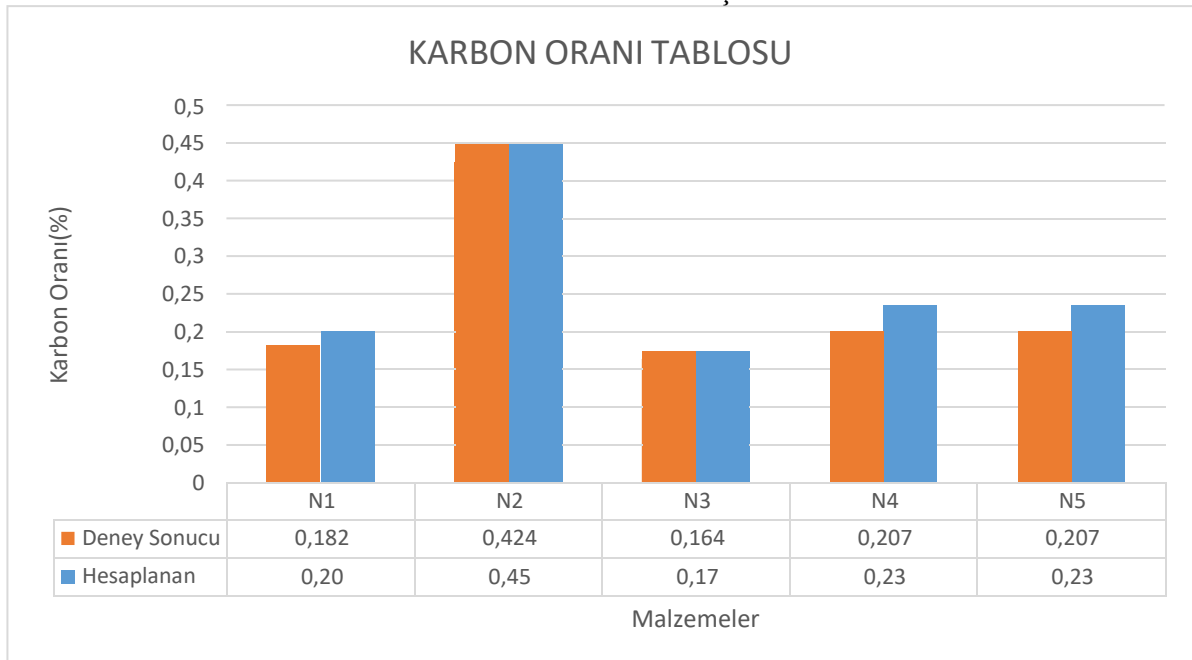
Yapılan çalışmalarda her bir numune için 3 ayrı bölgeden içyapı incelemesi yapılmıştır. Bu incelemelerden alınan görüntüler yazılım programı ile analiz edilerek ferrit ve perlit oranları belirlenmiştir. Her bir numuneden elde edilen verilerin ortalamaları alınarak çalışmalara devam edilmiştir. İncelemeler, alınan numunelerdeki tane büyüklüğüne göre seçilen büyütme oranlarında yapılmıştır. Çalışmada incelemeler 100x, 200x, 400x, 600x büyütme oranlarında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2-Numuneler üzerinden yapılan görüntü analiz sonuçları

NUMUNE	Veri	Birinci Görüntü	İkinci Görüntü	Üçüncü Görüntü	Ortalama
N1	Perlit (%)	25,5	26,2	22,75	24,81
	Ferrit (%)	74,5	73,8	77,25	75,19
N2	Perlit (%)	50,62	58,04	57,39	55,35
	Ferrit (%)	49,38	41,96	42,61	44,65
N3	Perlit (%)	21,2	19,98	21,36	20,84
	Ferrit (%)	78,8	80,02	78,64	79,16
N4	Perlit (%)	28,31	26,86	27,46	27,55
	Ferrit (%)	71,69	73,14	72,54	72,45
N5	Perlit (%)	29,66	25,36	30,5	28,5
	Ferrit (%)	70,34	74,64	69,5	71,5

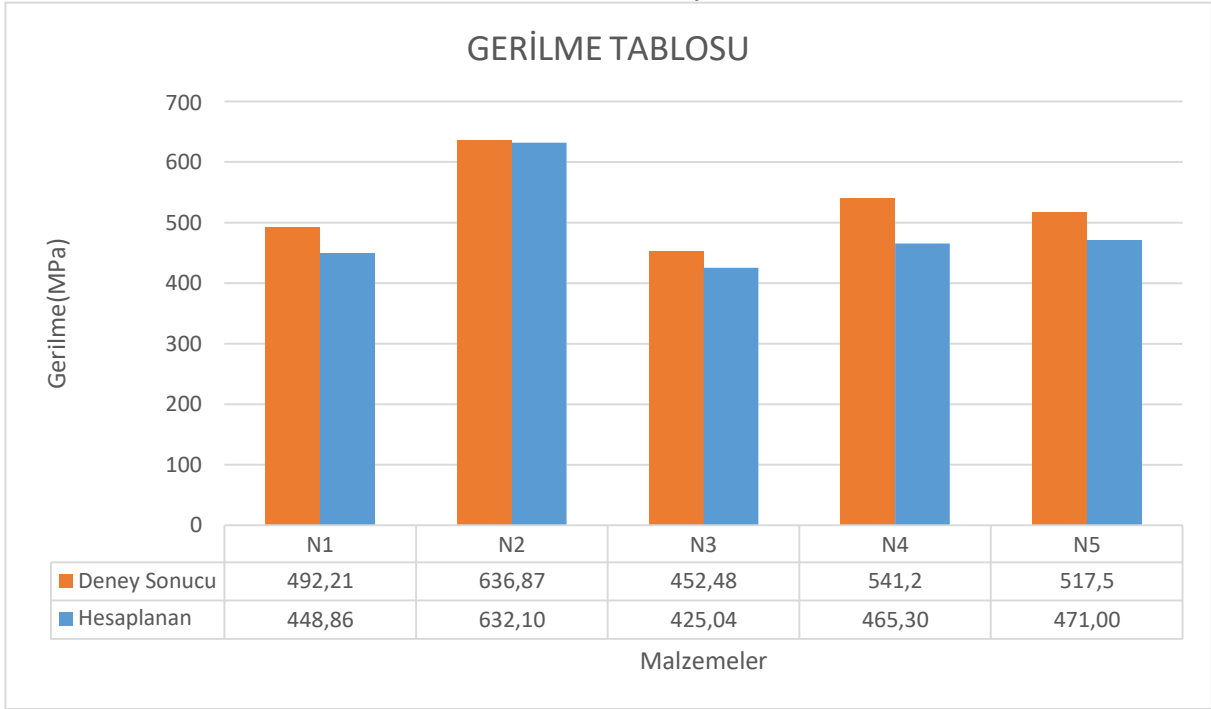
Perlit ve Ferrit oranları görüntüler üzerinden belirlendikten sonra hesaplamalara geçilmiştir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler aşağıdaki gibidir.

Tablo 3-Karbon Oranı Sonuç Tablosu

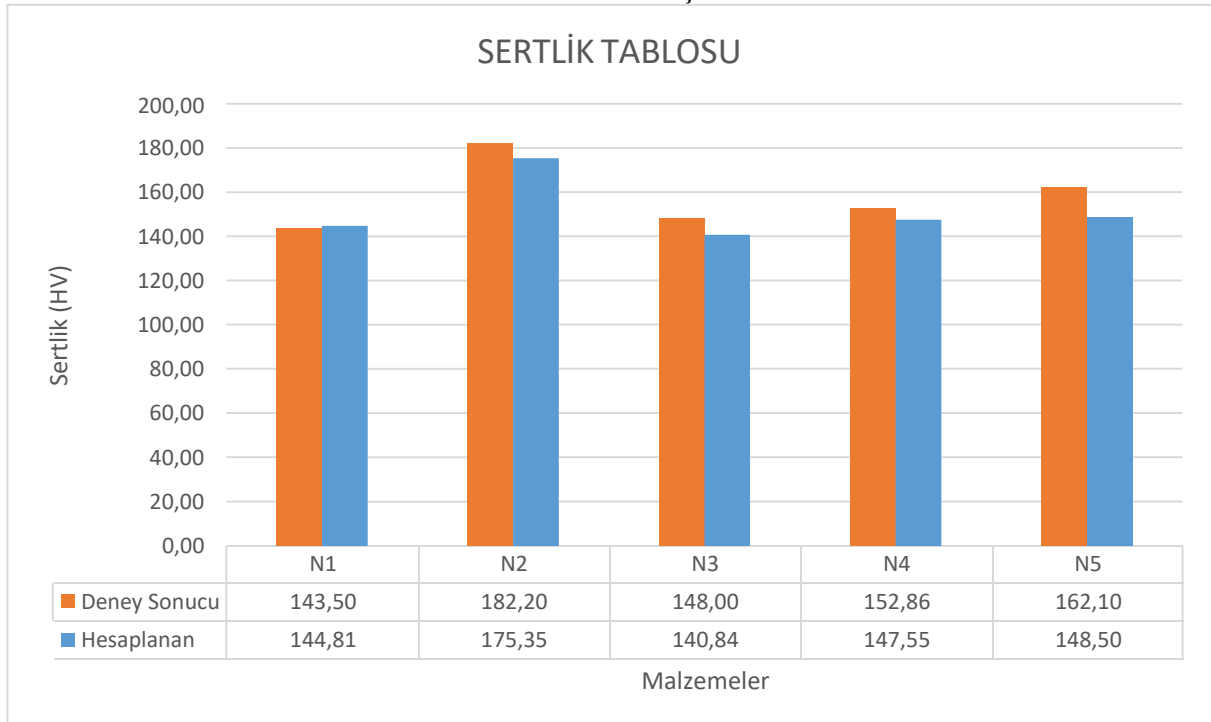




Tablo 4-Gerilme Sonuç Tablosu



Tablo 5-Sertlik Sonuç Tablosu



#### 4. SONUÇ

Yapılan çalışmada, mikro içyapı incelenerek diğer tahribatlı muayene metotlarıyla elde edilen çekme gerilmesi, sertlik değeri ve karbon oranının belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Çalışma demir-karbon denge diyagramının oda sıcaklığında ve %0,8 karbon içeriğine kadar olan ve ısıl işlemsiz çelikler için yapılmıştır. Bu bölgede bulunan malzemelerde ferrit ve perlit yapılar incelenmiş ve mikro içyapının nicel analizi üzerinden oranları belirlenmiştir. İçyapıdaki iki fazın yapısal ve mekanik özelliklerden yola çıkarak karbon oranları, çekme gerilme değerleri ve sertlik değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca aynı numunelerden elde edilen malzemelerin tahribatlı muayeneleri yapılarak deneysel sonuçlar da elde edilmiştir.

Yapılan çalışma sonrasında mikro içyapı incelenerek hesaplanan değerler ve deneysel veriler karşılaştırılmıştır. Deneysel veriler ile hesaplanan değerler arasında maksimum olacak şekilde, karbon oranlarında yaklaşık %10'luk bir fark, Gerilme değerlerinde %14'lük bir fark ve sertlik değerlerinde ise %9'luk bir fark olduğu görülmüştür.

Detaylı inceleme yapıldığında, alınan anlık görüntülerdeki oranlar ile elde edilen sonuçlarla deneysel veriler arasındaki farkın azalabildiği görülmektedir. Bununla birlikte görüntü analizindeki hassasiyet ve mikro testte uygulanan prosedürler, direk olarak ferrit ve perlit oranlarına etki ettiği görülmüştür. Burada seçilen büyütme oranları da önemli bir yere sahiptir. Düşük büyütme oranları daha geniş bir alanı inceleme olanağı tanırken görüntü analizindeki hassasiyet düşmektedir. Bununla birlikte büyük yüksek büyütme oranlarında görüntü analizi hassasiyeti artarken daha dar bir alanın analizi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca malzemelerin üretim durumlarının detayı da önemlidir. Tüm bunlara ek olarak, malzemelerdeki içyapının dağılımındaki homojenlik, hem deneysel çalışmalarda hem de teorik çalışmalarda göz önüne alınması gereken önemli bir konudur.

Sonuç olarak, yapılan çalışma özellikle mikro içyapının nicel inceleme ile karbon oranı, çekme gerilmesi ve sertlik değerlerinin büyük bir doğrulukla hesaplayabileceğimizi göstermiştir. Uygulanan prosedürlerdeki hassasiyetin artması ile doğruluğun daha da artabileceği görülmüştür.

## **KAYNAKLAR**

1. Karadeniz S., Karedeniz Ö, Tahribatlı Malzeme Muayenesi, Yayın No:MMO/685-4, 2018.
2. Demirci, A. H., Malzeme Bilgisi ve Malzeme Muayenesi, Alfa Yayın Evi, 2004.
3. Salman S., Gülsoy H., Metalografi Bilimi, Nobel Yayın Evi, 2019.
4. Kılıçlı V., Nicel Metalografi, MEM 317 Malzeme Karakterizasyonu, 2012.
5. Samim, S., Micro-Structure Examination, GENG 231,2015.
6. Y. D. Huang, L. Froyen, Quantitative analysis of microstructure in metals with computer assistance, NDT.net - May 2001, Vol. 6 No. 5.
7. Erişira E, Bilir O., Quantitative Analysis Of Microstructure Constituents Of Dual Phase Steels, 2nd International Iron and Steel Symposium (IISS'15), April 1-3, 2015.
8. S. Krajewski, J. Nowacki, Dual-phase steels microstructure and properties consideration based on artificial intelligence techniques, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Volume 14, Issue 2, February 2014, Pages 278-286.
9. Badkoobeh F. , Mostaan H., Rafiei M., Bakhsheshi-Rad h. R., Berto F., Microstructural Characteristics and Strengthening Mechanisms of Ferritic–Martensitic Dual-Phase Steels: A Review, Metals 2022, 12(1), 101
10. <https://www.astm.org/Standards/E112.htm>
11. <http://kemm.org.tr>

## **KISA ÖZGEÇMİSLER**

### **Dr. Ersan Gönül<sup>1</sup>**

1985 doğumludur. İlkokulu Cavit Çağlar İlköğretim Okulu, ortaokulu Sakarya İlköğretim Okulu ve liseyi Milli Piyango Anadolu Lisesinde okumuştur. 2009 yılında Uludağ Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü bölüm birincisi olarak tamamlamıştır. Yüksek lisansı yine Uludağ Üniversitesinde Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. Ardından Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümünde Doktorasını tamamlamıştır. 2011-2015 yılları arasında ISO 9712 NDT Seviye 3 sertifikalarını, 2016 yılında Kaynak Mühendisliği sertifikasını almıştır. 2009 yılından itibaren TMMOB Makine Mühendisleri Odası Bursa Şubesinde çeşitli konularda çalışmıştır. 2012 yılından itibaren TMMOB Makine Mühendisleri Odası AKM'nde ISO/IEC 17020 Muayene Kuruluşu ve Onaylanmış Kuruluş çalışmalarında yer almıştır. 2014 yılından itibaren ISO/IEC 17024 kapsamında TMMOB Makine Mühendisleri Odası Personel Belgelendirme Kuruluşu çalışmalarında yer almıştır. Temmuz 2017'de Personel Belgelendirme Kuruluşu tarafından kapsama eklenen ISO 9712 NDT Personel Belgelendirme çalışmalarında koordinatör olarak görev almıştır. 2021 yılında TMMOB Makina Mühendisleri Odası Kaynak Eğitim ve Muayene Merkezi'nde gerçekleştirilen Tahribatlı Muayene Laboratuvarı Kurulum çalışmalarını yürütmüştür. Süreçlerle ilgili olarak Makina Mühendisleri Odası AKM'de çeşitli kapsamlarda Birim Yöneticisi olarak çalışmalara devam etmektedir. Ayrıca Makine Mühendisleri Odası bünyesinde imalat kontrolleri, Personel Belgelendirme süreçleri, Bilgisayar Destekli Kontroller ve çeşitli konularda görevleri devam etmektedir. 2018 yılından itibaren Kaynak Eğitim ve Muayene Merkezinde Müdür olarak görevini sürdürmektedir.

### **Burak Bayraktaroğlu<sup>2</sup>**

1985 doğumludur. Uludağ Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü mezunudur. Yüksek lisansını Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. 2017-2020 yılları arasında ISO 9712 NDT Seviye 3 sertifikalarını, 2016 yılında Kaynak Mühendisliği sertifikasını almıştır. 2009 yılından itibaren MMO Bursa Şubede çeşitli konularda çalışmıştır. Makina Mühendisleri Odası bünyesinde Muayene kuruluşu ve Personel Belgelendirme akreditasyon çalışmalarında yer almıştır. 2018 yılından itibaren TMMOB Makina Mühendisleri Odası Kaynak Eğitim ve Muayene Merkezinde çalışmalarını sürdürmüştür. Kaynak Eğitim ve Muayene Merkezi bünyesinde kurulan Tahribatsız ve Tahribatlı muayene laboratuvar çalışmalarında yer almış olup şuanda KEMM bünyesinde Tahribatsız Muayene Eğitimlerinde görev almaktadır.

## **TIG Kaynağında Otomatik Tel Besleme Yöntemlerinin Titanyum Alaşımlarındaki Uygulanabilirliği ve Avantajlarının İncelenmesi**

İhsan MEHTAP

Metalurji ve Malzeme Mühendisi / Uluslararası Kaynak Mühendisi

Opak Madencilik, Ankara, 10.2023

E-posta: [ihsan.mehtapp@gmail.com](mailto:ihsan.mehtapp@gmail.com)

Telefon: +90 5056177870

# TIG Kaynağında Otomatik Tel Besleme Yöntemlerinin Titanyum Alaşımlarındaki Uygulanabilirliği ve Avantajlarının İncelenmesi

*İhsan MEHTAP*

**Özet:** TIG kaynağına otomatik tel besleme sisteminin eklenmesi ile Titanyum gibi özel kaynak proseslerinde verimliliğin artırılması.

Kaynak endüstrisinde TIG yönteminin kullanılmasındaki başlıca etkenler; temiz, kontrollü ve düşük hata oranıyla kaynak imkanıdır. Ancak prosesin yavaş ilerlemesi ve yüksek ısı girdisi, bu yöntemdeki dezavantajlar olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle Titanyum ve benzeri özel alaşımların kaynak proseslerinde, sıcaklık ve ortam koşullarının sürekli takibinden dolayı ilerleme hızları karbon çelik ve paslanmaz çeliklere göre daha da düşmektedir. Titanyum alaşımlarının kaynağında diğer kaynak yöntemlerinin sağlıklı olarak kullanılamaması da TIG kaynak yönteminin geliştirilerek, ilerleme hızlarında ve tüketimlerde iyileştirme gereksinimini doğurmuştur.

Tel besleme sistemlerinin TIG yöntemine eklenmesi ile yarı veya tam otomasyon tabanlı bir proses oluşturulması amaçlanmıştır. Soğuk veya sıcak olarak uygulanan tel besleme tekniklerinin kaynak prosesindeki metalurjik davranışlarıyla, endüstriyel uygulamalardaki kazançları da detaylı olarak incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** TIG kaynak, Titanyum alaşımları, Titanyum kaynağı, Otomatik tel besleme, Sıcak tel besleme, Soğuk tel besleme, TIG Otomasyon

**Abstract:** Increasing efficiency in special welding processes such as Titanium by adding an automatic wire feeding system to TIG welding.

The main factors in using the TIG method in the Welding Industry are; It is a clean, controlled and low error rate welding opportunity. However, the slow progress of the process and high heat input are the disadvantages of this method. Especially in the welding processes of Titanium and similar special alloys, progress rates are lower than carbon steel and stainless steels due to the constant monitoring of temperature and environmental conditions. The inability to use other welding methods effectively in the welding of titanium alloys has led to the need to improve the progress speed and consumption by developing the TIG welding method.

By adding wire feeding systems to the TIG method, it is aimed to create a semi- or fully automation-based process. The metallurgical behavior of cold or hot wire feeding techniques in the welding process, as well as their benefits in industrial applications, have been examined in detail.

**Keywords:** TIG welding, Titanium alloys, Titanium welding, Automatic wire feeding, Hot wire feeding, Cold wire feeding, TIG Automation



# TIG Kaynağında Otomatik Tel Besleme Yöntemlerinin Titanyum Alaşımlarındaki Uygulanabilirliği ve Avantajlarının İncelenmesi

## 1. GİRİŞ

Titanyum alaşımlarının, sıcaklığın 300°C dereceyi geçtiği ve koruyucu gaz ya da vakum ortamının bulunmadığı koşullarda oksijenle temasa geçerek yüzeyinde kırılğan TiO tabakası oluşmaktadır. Bu nedenle kaynak prosesinin, sıcaklık kontrollü olması ve torç takip aparatları veya koruyucu gaz içeren fanus ortamlarında tatbik edilmesi gerekmektedir. Bu durum kaynak ilerleme hızlarının düşmesine ve soğuma için beklenen sürenin artmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada titanyum alaşımlarının kaynak prosesindeki gereksinimler ve kullanılabilen yöntemlerle birlikte, Titanyum Gr12 boru parçasının manuel, yarı otomasyon soğuk tel besleme ve yarı otomasyon sıcak tel besleme yöntemlerindeki metalurjik ve ekonomik değişkenleri incelenmiştir.

## 2. YÖNTEM

### 2.1 Çalışma Alanı ve Kaynak Öncesi Gereklilikler

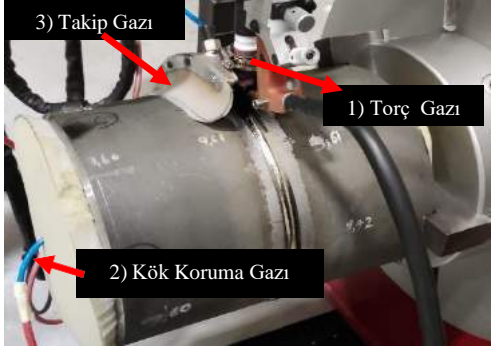
Titanyum üretiminde temizlik çok önemlidir. Özellikle kaynak sırasında metal havuzuna gelebilecek yağ, serbest demir gibi kirlilikler metal yüzeyinde veya derinliklerde kırılğan oksit yapıları veya intermetalik sert ve kırılğan geçişler oluşturmaktadır. Titanyum kaynağı tamamen kapalı koruyucu gaz ortamında yapılmakla birlikte, açık atölye ve saha ortamlarında da yapılabilmektedir. Titanyum imalatının yapılacağı yüzeylerin alüminyum veya toz tutmayacak serbest demir içermeyen kaplamalar ile kaplanması gerekmektedir. Eğer malzeme üzerinde yağ varsa alkalin bazlı yağ gidericiler ile temizlenmeli ve ardından kontaminasyon durumuna göre "pickling" solüsyonu ile ön temizlik yapılmalıdır. Kaynak ağzı bölgesinin yaklaşık 50 mm sağ ve solunu kapsayan kısımlar demir içermeyen parmak frezesi ile kaldırılmalıdır. Kaynak sırasında da kenarlarda kontaminasyon oranı yüksek olacağından, yüzeysel sertliklerin diğer pasolara taşınmaması adına bu uygulama kaynak finaline kadar devam ettirilmelidir. Mekanik temizlik sırasında çelik veya paslanmaz çelik tel fırça veya yünler kesinlikle kullanılmamalıdır. Yüzey kaldırıldıktan sonra aseton ile kimyasal temizlik yapılmalıdır. Kaynak tellerinin de açıkta veya tozlu olması durumunda aseton ile silinmesi gerekmektedir.



Resim1: Kapalı Koruyucu Gaz Ortamı

## 2.2 Kaynak Esnasındaki Gereklilikler

Kaynak bölgesindeki sıcaklık 300 °C ‘nin altındaki değerlere inene kadar koruyucu inert gaz atmosferinde proses devam ettirilmelidir. Bu da geleneksel boru kaynaklarına ek olarak bir de takip gazının eklenmesini gerektirir. Genellikle, üç farklı lokasyon için de kullanılan koruyucu gaz kompozisyonu Ar %99,995’den büyük olmalıdır <sup>(1)</sup>. Tüm lokasyonlarda bulunan gazların, kaynak finaline kadar kullanımında olması gerekmektedir. Bu gereklilik titanyum kaynağında çok fazla gaz sarfiyatı oluşmasına sebep olmaktadır. Özellikle, kaynak başlamadan önce kök koruma gazı ile iç kısımdaki hava tahliye edilmeli ve O<sub>2</sub> oranının min. 40 ppm değerinin altında olduğu kontrol edilmelidir. (1)

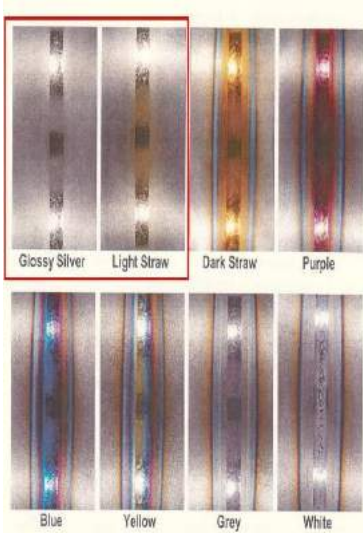


Resim2: Takip Gazları



Resim3: O<sub>2</sub> Ölçümü

Titanyum ısı girdisine bağlı olarak havayla tepkimeye girerek yüzeyinde renklenmeler oluşturmaktadır. Başarıyla gerçekleştirilen titanyum kaynak görselinin gümüş ve saman sarısı renklerinde olması gerekmektedir. Diğer renklenmeler malzemenin yaklaşık 300-900 °C sıcaklıkları arasındaki oksitlenmiş ve aşırı ısı girdisinin olduğu uygulamaları tanımlamaktadır. 427 °C üzerindeki korumasız ısı girişlerinde malzemenin mukavemetini hızlıca yitirdiği ve kırılganlığın giderek arttığı gözlemlenmiştir. Özellikle gri-beyaz renklenmelerinin olduğu kaynak bölgelerinin tamamen kesilerek, bölgenin temizlenmesi ve sertlik ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. (2)



Resim4: Oluşabilen Kaynak Renkleri(3)



Resim5: Gümüş Renk Kaynak Görseli

1

<sup>1</sup> Argon gazı genellikle %99,999 oranında yüksek saflıkta kullanılmaktadır. Argon gazı dışında Helyum gazı da kullanılabilir.

### 2.3 Titanyum Kaynağında Kullanılabilen Yöntemler

Titanyum kaynak prosesinde kullanılabilen yöntemler ve detayları Tablo1 'de belirtilmiştir.

Kaynak Yöntemi	Avantajları	Dezavantajları
TIG	Tüm pozisyonlar için uygun Yüksek kaliteli kaynaklar	Oldukça yavaş kaynak ilerlemesi Kaynak banyosunda tungsten kalıntısı
MIG	TIG 'e göre yüksek hız	Ark kararlılığı düşük Yoğun kaynak sıçrantısı
PLAZMA	TIG 'e göre yüksek hız Tek pasoda yüksek dolgu olanağı	Pozisyon kısıtlaması
LAZER	Hızlı olması Düşük ısı girdisi	Pahalı Olması
ELEKTRON IŞIN	Tek pasoda yüksek dolgu olanağı Dolgu metali ve gaz gereksinimi oluşmaması	Pahalı Olması Kabin boyutlarının kısıtlaması

**Tablo1: Kaynak Yöntemleri**

### 2.4 TIG Soğuk ve Sıcak Tel Besleme Sistemleri

Tel besleme sistemleri telin otomatik olarak ark banyosuna gelmesini amaçlamaktadır. Böylece banyo içerisine stabil olarak gelen tel sayesinde daha kontrollü kaynak ilerlemesi ve düzgün bir dikiş görüntüsü oluşmaktadır. Tel hızlarının kontrollü olarak artırılabilmesinden dolayı manuel TIG kaynağına göre daha yüksek amper ve ilerleme hızlarına da ulaşılabilir. Bir anlamda MIG/MAG yöntemindeki tel besleme sisteminin TIG yöntemine uyarlanması olarak düşünülebilir. Kullanılan dolgu teli yine masif MIG/MAG telidir.

Sıcak tel besleme sisteminde ise, telin banyoya girmeden hemen önceki çıkış noktasına, bir güç kaynağı vasıtası ile akım verilerek telin ısıtılması amaçlanmıştır. Kaynak telinin sıcak olarak banyoya girmesi, ergimenin rahat gerçekleşmesine ve birim zamandaki dolgu metali miktarının daha fazla olmasını sağlamaktadır.

Tel beslemeler genellikle otomasyon sistemlerine eklenmekle birlikte, iş parçasının hareket ettirilemediği durumlarda manuel kaynak yönteminde de kullanılabilir.



**Resim6: Sıcak Tel Besleme Yapısı**

### 3. BULGULAR

#### 3.1 Ti Gr-12 (0.3 % Molibden, 0.8 % Nikel) Boru Parçası Üzerinde Sistemlerin Kıyaslanması

Aşağıdaki tablolarda, gerçekleştirilen kaynak yöntem testlerinin sonuçlarına göre, 3 farklı sistemin sonuçları paylaşılmıştır.

<b>Malzeme Kalitesi:</b>	Titanyum Grade 12
<b>Kalınlık:</b>	12,5 mm
<b>Boru Dış Çapı:</b>	10" / 273 mm
<b>Çevre:</b>	857 mm
<b>Parça Tipi:</b>	Boru
<b>Birleştirme Tipi:</b>	Alın Kaynağı (BW)
<b>Kaynak Ağı Açısı:</b>	70 °
<b>Kaynak Alanı:</b>	1.42 cm <sup>2</sup>

**Tablo2: İş Parçası Bilgileri**

<b>Koruma Gazı (Argon)</b>	<b>Gaz Akışı(lt/dak)</b>
Torç Gazı	12
İç Koruma Gazı	12
Takip Gazı	25

**Tablo3: Koruyucu Gaz Bilgileri**

Tüm sistemlerde kök uygulaması manuel olarak yapılmıştır. Bu nedenle çalışmalarda dolgu kaynağındaki değişiklikler incelenmiştir.

<b>Sistem</b>	<b>Amper</b>	<b>Voltaj</b>	<b>Tel Besleme Hızı(m/dak)</b>	<b>Kaynak İlerleme Hızı(cm/dak)</b>	<b>Isı Girdisi KJ/cm</b>	<b>Tel Akımı (Amper)</b>
Manuel	140	15	--	7.5	16.8	--
Soğuk Tel Besleme	160	12	2.6	12.2	9.4	--
Sıcak Tel Besleme	220	14	5.6	14	13.2	100

**Tablo4: Kaynak Esnasındaki Değerler**

<b>Sistem</b>	<b>Kök Yöntem (TIG)</b>	<b>Dolgu Yöntem (TIG)</b>	<b>Paso Sayısı</b>	<b>Sıra Sayısı</b>	<b>Dolgu Metali</b>	<b>Tel Çapı (mm) Kök/Dolgu</b>
Manuel	Manuel	Manuel	8	5	ERTi-12	2,4/2,4
Soğuk Tel Besleme	Manuel	Otomasyon	10	6	ERTi-12	2,4/1,2
Sıcak Tel Besleme	Manuel	Otomasyon	5	4	ERTi-12	2,4/1,2

**Tablo5: Yöntem Bilgileri**

Tablo4 'de kaynak sürecindeki tespit edilen ortalama değerler belirtilmiştir. Otomasyon sistemlerinde ark boyunun ve tel beslemesinin düzenli ve kontrol edilebilir olmasından dolayı voltaj değerlerinin düştüğü ve ısı girdisine katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Telin sürekli gelmesi, akımın artırılarak yığma miktarının ve/veya ilerleme hızlarının artırılmasını sağlamaktadır.

Sıcak tel besleme sisteminde, telin ısıtılarak banyoya girişinin, tel yığma miktarının daha fazla artmasına ve Tablo5'de görüldüğü gibi kaynak sıra ve paso sayılarının düşmesine olanak sağladığı gözlemlenmiştir.

<b>Sistem</b>	<b>Kaynak Devrede Kalma Süresi(dak)</b>	<b>Soğuma Bekleme Süresi<sup>(2)</sup> (dak)</b>	<b>Toplam Operasyon Süresi(dak)</b>	<b>Pasodaki Ortalama Dolgu Kalınlığı (mm)</b>
Manuel	110	308	418	2.7
Soğuk Tel Besleme	93	180	273	2.3
Sıcak Tel Besleme	54	120	174	3.4

**Tablo6: Operasyon Sürelerinin Analizi**

Titanyum manuel kaynak uygulamasında telin kaynakçı tarafından beslenmesi ve ısının dağıtılamamasından dolayı ilerleme hızlarının yaklaşık 7,5 cm/dakika ile sınırlanması, dur-kalk sürelerinin sık ve fazla olmasına sebebiyet vermektedir. Tablo6’da görüldüğü gibi, kaynak devrede kalma süreleri arasında çok farklılık gözlemlenmezken, soğuma bekleme sürelerinden dolayı toplam operasyon sürelerinde ciddi farklılıklar gözlemlenmiştir.

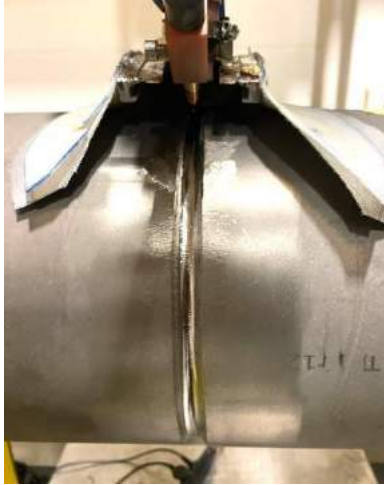
Sistem	Torç Gazı Tüketim (m <sup>3</sup> )	İç Koruma Gazı (m <sup>3</sup> )	Takip Gazı (m <sup>3</sup> )	Toplam Gaz Tüketimi (m <sup>3</sup> )
Manuel	1.32	5	2.75	9.07
Soğuk Tel Besleme	1.16	3.27	2.32	6.75
Sıcak Tel Besleme	0.64	2.1	1.35	4.1

**Tablo7: Teorik Gaz Tüketimleri**

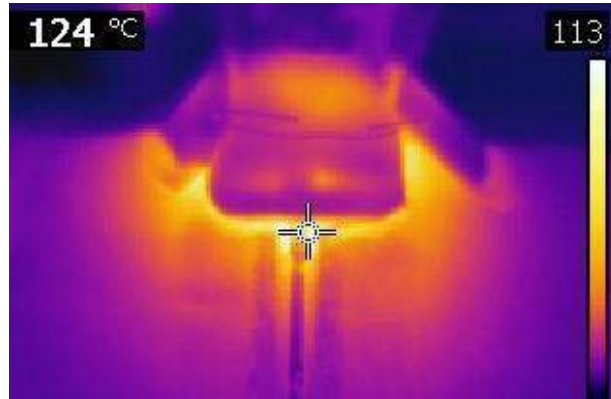
Titanyum kaynağında, koruyucu gaz kullanımı diğer malzemelerin kaynak prosesine göre farklılıklar içermektedir. Isının 300 °C altında tutulmak istenilmesi (Bkz.Resim8-9), iç koruyucu gazın kaynak işleminin sonuna kadar devam ettirilmesini gerektirmektedir. Bu durumda gaz tüketimi çok fazladır. Tablo6’da belirtilen devrede kalma ve toplam operasyon süreleri ile Tablo3’de belirtilen gaz akış verileri değerlendirildiğinde, Tablo7’de ki teorik gaz tüketimleri hesaplanmaktadır. Otomatik sistemlerde telin sürekli beslenmesi sayesinde tel tüketiminde de tasarruf görülmektedir. Bilindiği gibi manuel TIG yönteminde kullanılan kaynak tellerinin yaklaşık 150 mm’lik son kısmı kullanılmadığı için hurdaya ayrılmaktadır. Gözlemlenen bir diğer husus ise tel sürekli kaynak banyosu içerisinde kalmasıdır. Bu durumda tel her zaman koruyucu gaz atmosferinin içerisinde durmaktadır. Böylelikle oksijen ile teması kesildiğinden kaynak banyosuna girebilecek oksit oluşumları da bir miktar engellenmektedir.

Manuel kaynak esnasında dur-kalk süreçlerinde tel sürekli banyo dışına çıkmakta ve telin ucunda oksit oluşumu gözlenmektedir. Kaynakçının her seferinde, bu oksit oluşumunu gidermesi gerekmektedir. Bu da oksitin kaynak banyosuna girebilme olasılığını doğurmaktadır.

Kaynak işlemleri, sonrasında iş parçalarından numuneler alınarak çekme ve eğme testleri gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda tüm sistemler için herhangi bir uygunsuzluk ve süreksizlik ile karşılaşılmamıştır.



**Resim7: Sıcak Tel Besleme 2. paso**

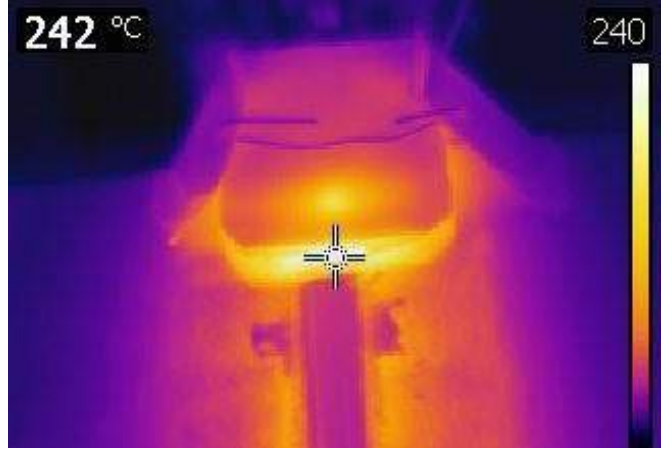


**Resim8: 2. Paso Bitimi Sıcaklık**





**Resim9: Sıcak Tel Besleme 4. Paso**



**Resim10: 4. Paso bitimi sıcaklık**

#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yapılan incelemeler sonucunda otomatik tel besleme sistemlerinin titanyumun TIG kaynağı prosesinde operasyon süreleri ve ısı girdisi bakımından avantajlı olduğu görülmüştür.

Gaz tüketimleri, operasyon sürelerinden dolayı işçilik maliyetleri, tel sarfiyatı ve diğer tüketimlerde de ciddi düşüşler olduğu gözlemlenmiştir.

Sıcak besleme sistemindeki tel hızları incelendiğinde ortalama 5,6 m/dakika, en yüksek 6m/dakika besleme hızı görülmüştür. Titanyum için teorik hesaplamalar yapıldığında yaklaşık 2kg/saat tel ergitme kapasitesi tespit edilmiştir. Bu durum sıcak tel besleme sistemlerinin, MIG/MAG sistemlerinde tel ergitme performansına yaklaştığını göstermiştir.

Son yıllarda Titanyum alaşımlarının yüksek korozyon direnci ve düşük yoğunlukla yüksek mukavemet performanslarından dolayı uzay, havacılık, madencilik ve kimya endüstrilerindeki tercih edilebilirliğinin arttığı görülmektedir. Bu kapsamda soğuk ve sıcak tel besleme sistemlerinin endüstride titanyum uygulamalarında yaygınlaştırılarak, iş kapasitelerinin artırımında katkı sunacağı anlaşılmaktadır. Tablo8'de otomatik tel besleme sistemlerinin, manuel sisteme göre katkıları gösterilmiştir.

Sistem	Operasyon Süresi Katkısı (%)	Gaz Sarfiyatı Katkısı (%)	Tel Sarfiyatı Katkısı (%)
Soğuk Tel Besleme	53	64	15
Sıcak Tel Besleme	140	121	15

**Tablo8: Otomatik Tel Besleme Sistemlerinin Katkıları**



## 5. KAYNAKÇA

- (1) Warner, N, 2011, Titanium Fabrication & Welding Practices, Avustralya
- (2) Warner, N, 2011, Titanium Fabrication & Welding Practices, Avustralya
- (3) Warner, N, 2011, Titanium Fabrication & Welding Practices, Avustralya

## ÖZGEÇMİŞ

### **İhsan MEHTAP**

(1988 Gaziantep), İlk, Orta ve Lise öğrenimini Gaziantep’te tamamladı. KTÜ (Karadeniz Teknik Üniversitesi) Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünden 2011 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl içerisinde ODTÜ’ de Uluslararası Kaynak Mühendisliği Eğitimi tamamlamıştır. Metal ve maden sektöründe faaliyet gösteren uluslararası firmalarda; tank-borulama sistem kurulumu, devreye alma, özel kaynak uygulamaları, kalite kontrol ve kalite yönetim sistemleri gibi farklı branşlarda yönetici olarak görev almıştır. Özellikle titanyum, zirkonyum, nikel alaşımları gibi egzotik malzemelerin kaynaklanabilirliği konusunda çalışmalarda bulunmaktadır. EN/ISO 9712 tahribatsız muayene teknikleri ve SSPC-PCI koruyucu kaplamalar konusunda Seviye II sertifikasyonlarını tamamlamıştır. 2019 yılından itibaren OPAK Mühendislikte, imalat müdürü görevini yürütmektedir.

# KAYNAK ÇALIŞANLARININ İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

*Dr. Uğur BAYAR\**

*Makine Yüksek Mühendisi, Çalışma Uzmanı*

*T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye*

[ugur.bayar@csgb.gov.tr](mailto:ugur.bayar@csgb.gov.tr)

*(0312) 2966802*

*Dr. Öğr. Üyesi Uğur ARABACI*

*Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara, Türkiye*

[uarabaci@gazi.edu.tr](mailto:uarabaci@gazi.edu.tr)

## ÖZET

Bu çalışmada Ankara ilinde metal sektöründe faaliyet gösteren ve gaz altı, toz altı ve/veya örtülü elektrot ark kaynak işi ile çalışma yürüten 15 farklı işyerinde iş sağlığı ve güvenliği koşullarının belirlenmesi adına çalışanlara 18 soruluk bir anket uygulanmıştır. Elde edilen verilerin değerlendirilebilmesi adına işyerleri büyük, orta, küçük ve mikro sınıf olmak üzere dört farklı kategoriye bölünmüş ve yapılan değerlendirmeler bu sınıflandırma kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma ile kaynak çalışanlarının genel profilinin ortaya konulması ve kaynak işi yürütülen işletmelerdeki iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin durumun irdelenmesi sağlanmıştır.

## ABSTRACT

In this study, an 18-question survey was applied to the employees in order to determine the occupational health and safety conditions in 15 different workplaces operating in the metal sector and working with gas, submerged and/or covered electrode arc welding in the province of Ankara. In order to evaluate the data obtained, workplaces were divided into four different categories as large, medium, small and micro classes, and the evaluations were made within the scope of this classification. With the study, it was ensured that the general profile of welding workers was revealed and the situation regarding occupational health and safety in enterprises where welding work was carried out.

\*İrtibat yazarı

## 1. GİRİŞ

Kaynak, malzemelerin birleştirilmesini sağlayan bir imalat yöntemi olduğundan başta metal sanayi olmak üzere birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kaynak yönteminden yararlanan başlıca sektörler; otomotiv, inşaat, altyapı, enerji, gemi inşa, dökümcülük, talaşlı imalat vb. olarak görülse de sanayinin her kolunda kaynak işleminde faydalanılmaktadır.

Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından yapılan tanımlamaya göre iş sağlığı ve güvenliği; bütün mesleklerde, çalışanların bedensel, ruhsal ve sosyal yönden iyilik hallerinin en üstün düzeyde tutulması, sürdürülmesi, geliştirilmesine yönelik faaliyetler ile işyerlerinde ortaya çıkabilecek her türlü tehlikeye karşı alınması gereken tüm tedbirlere ilişkin uygulamaları kapsayan sistemli ve bilimsel çalışmalar bütünüdür. İş sağlığı ve güvenliğinin çok geniş ve disiplinler arası bir görev alanı olması nedeniyle her mesleğin veya sektörün kendi ihtiyaçlarına uygun çalışmaları yürütülmesi gerekmektedir. Barındırdığı tehlikeler göz önünde bulundurulduğunda kaynak işi de çalışanların korunması adına çeşitli önlemler alınması gereken bir iş koludur.

Avrupa Topluluğundaki ekonomik faaliyetlerin istatistiksel sınıflandırması amacıyla kullanılmakta olan NACE (Nomenclature des Activites Economiques dans la Communauté Européenne – Avrupa Birliğindeki Ekonomik Faaliyetlerin İstatistik Sınıflaması) kodları vasıtasıyla işyerlerinin tehlike sınıfları belirlenmektedir. Kaynak işinin tekil bir sektör olmayışı ve bir imalat yöntemi olarak hemen her alanda kullanılıyor olması nedeniyle kendine ait NACE kodu mevcut değildir. “25.62.02: Metallerin makinede işlenmesi (torna tesfiye işleri, metal parçaları delme tornalama, frezeleme, rendeleme, parlatma, oluk açma, perdelama, birleştirme, kaynak yapma vb. faaliyetler) (metallerin lazerle kesilmesi hariç)” kodunda yer alan kaynak işi, ülkemizdeki işyerleri için uygulanmakta olan üç farklı tehlike sınıfından orta tehlikeli olarak tarif edilen tehlikeli işler sınıfında yer almaktadır. İmalatın en önemli yöntemlerinden biri olan kaynak işlerinde, çalışanların maruz kaldığı tehlikelerden başlıcaları; toz, kaynak gazı ve dumanı gibi hava kirleticiler, kaynak esnasında ortaya çıkan zararlı ışınlar, gürültü, elektrikle çalışma kaynaklı tehlikeler ve ergonomik kaynaklı streslerdir.

Bu çalışmada, sanayide en sık kullanılan kaynak türlerinden örtülü elektrot ark kaynağı, gaz altı ve toz altı kaynağı tercih edilmiş ve Ankara ilinde bu kaynak türlerinden yararlanan 15 farklı işyeri ziyaret edilmiştir. Bu işyerlerinde çalışan toplam 131 kaynakçıya 18 soruluk iş sağlığı ve güvenliği farkındalık anketi uygulanmıştır. Elde edilen verilerle kaynak çalışanlarının genel profili ortaya konularak iş sağlığı ve güvenliği konusuna yaklaşımları belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yapılan literatür araştırması sonucunda iş sağlığı ve güvenliği açısından kaynak işine yönelik ulusal ve uluslararası birçok çalışmanın mevcut olduğu saptanmış, bu çalışmaya yol gösterici olanlara aşağıda değinilmiştir.

Tagurum ve diğerleri (2018) tarafından yapılan çalışmada kaynakçıların mesleki tehlikelere ilişkin farkındalık düzeyleri ölçülmeye çalışılmıştır. 295 kişiye uyguladıkları ankete göre kaynakçıların %99,3’ü mesleki tehlikelerin farkında olduklarını beyan etmişlerdir. Bu tehlikeler arasında en yüksek oranı %93,2 ile gürültü ve titreşim alırken termal stres %45,8 oranı ile dördüncü sırada kendine yer bulmuştur. Çalışanların %98’i koruyucu gözlük, %92,2’si koruyucu eldiven, %75,6’sı yüz maskesi ve %50,2’si kulak koruyucu kullandıklarını belirtmiştir. Çalışma neticesinde, en az bir kişisel koruyucu donanım kullanımının yüksek olmasına ve işyerindeki tehlike algısının tatmin edici düzeyde olarak ölçülmesine rağmen çalışanların meslekle alakalı sağlık sorunlarını yoğun olarak yaşamaya devam ettiği ortaya konulmuştur.

Bayraktar (2016) tarafından yürütülen çalışmada on beş farklı sanayi işletmesinde aydınlatma ölçümü gerçekleştirilmiş ve çalışanlara anket uygulanmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları ile ilgili standarttaki sınır değerler karşılaştırılmış ve aydınlatma düzeylerinin yeterliliği değerlendirilmiştir. Çalışanlarla yapılan yüz yüze görüşmeler vasıtasıyla çalışanların memnuniyet seviyeleri araştırılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde, ölçüm alınan işyeri bölgelerinden %54,8’inin aydınlık düzeyinin mevzuat ve ilgili standartları karşılamadığı belirlenmiştir. İş alanlarının %73,5’inin dolaşım alanlarının %41’inin ve çevre alanların ise %39,6’sının orantısız ve yetersiz aydınlatmaya sahip olduğu tespiti yapılmıştır. Ankete katılanların %35,6’sı iş alanlarının aydınlatma koşullarını yetersiz bulmuştur. Araştırmaya katılanların %22,2’si işyerinde aydınlatma kaynaklı kaza yaşadığını beyan etmiştir. Bu kapsamda en sık yaşanan kaza türünün kayma, takılma veya düşme olduğu belirlenmiştir.

Tadesse ve diğerleri (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada 555 kaynakçıya anket uygulanmıştır. Ankete katılan kaynakçıların %86,5'inin yaptıkları işteki mesleki tehlikelerden haberdar oldukları belirlenmiştir. Bu kesimde yer alan katılımcılar özellikle, kaynak esnasında duman ve gazlar, toz, yoğun ve parlak ışık, aşırı gürültü, titreşim, elektrik, aşırı sıcaklık ve ergonomik olmayan çalışma koşullarına maruz kaldıklarını beyan etmişlerdir.

Kaymaz (2014) tarafından yürütülen çalışmada 46 kaynak çalışanına ulaşılmış ve anket uygulanmıştır. Yapılan araştırma ile işten veya çalışma sorunlarından kaynaklanan hastalıklar ile kişisel koruyucu donanım kullanımının birbirlerine etkisi incelenmiştir. Ankete katılan sekiz kaynakçı daha önce iş kazası geçirdiğini, altı kaynakçı ise işe bağlı sağlık problemleri yaşadığını beyan etmiştir. 41 çalışan, kişisel koruyucu donanımlarını kullandıklarını ifade etmiştir. Mesleki rahatsızlık yaşayan kişilerden beşinin kişisel koruyucu donanım kullanan kişiler arasında bulunduğu görülmüştür. Yine kişisel koruyucu donanım kullanan kişilerden %13'ünün iş kazası geçirdiği öğrenilmiştir. Sağlık ve güvenlik tedbirlerini aldığını düşünen çalışanların %15'i iş kazası yaşamıştır. İş kazası yaşayan 8 çalışanın da işyerlerinde risk değerlendirmesinin yapılmış olduğu anlaşılmıştır. Çalışanların %95'inin düzenli sağlık taramasından geçirilmesine rağmen altı çalışanın mesleki sağlık sorunları yaşıyor olması sağlık taramalarının meslek hastalığı önlemede yetersiz kaldığı göstermiştir. Aynı şekilde çalışanlar tarafından kişisel koruyucu donanım kullanımı veya işyerinde risk değerlendirmesi yapılmış olma durumunun iş kazası veya meslek hastalığını önlemesi konusunda herhangi bir bağlantısı tespit edilememiştir. Çalışanların en çok gürültü, toz, kaynak dumanı ve gazlardan etkilendiği ve işyerlerinde aydınlatmanın yetersiz bulunduğu tespit edilmiştir.

Joseph ve diğerleri (2017) tarafından yapılan çalışmada kaynak işi ile uğraşanların karşılaştıkları tehlikelere ilişkin bilinç düzeylerinin ve kişisel koruyucu donanım kullanma durumlarının tespitinin yapılması amaçlanmıştır. Bu maksatla 155 çalışana anket uygulanmıştır. Kaynakçıların %74,9'unun elektrik ark kaynağı yaptığı belirlenmiş ve %72,9'unun günde sekiz saatlik mesai düzeninde çalıştığı anlaşılmıştır. Ankete katılanların %62,6'sı mesleki tehlikelerin farkında olduklarını beyan etmişlerdir. İşitme bozukluğu yaşayanların %2,6 oranında, görme kaybı yaşayanların ise %7,1 oranında olduğu belirlenmiştir. Kaynakçıların %66,7'sinin yüz koruyucu, %74,8'inin göz koruyucu, %40'ünün kulak koruyucu, %54,6'sının el koruyucu ve %91,4'ünün ise ayak koruyucu kullandığı öğrenilmiştir. Yapılan çalışma ile kişisel koruyucu donanım kullanımının artması ile karşı karşıya kalınan rahatsızlıklarda düşüş yaşandığı, nizami olarak önlem alan işçilerin şikayetlerinin azaldığı belirlenmiştir.

İzgi (2006) tarafından yapılan çalışmada Ankara'da faaliyet gösteren üç büyük işletme seçilerek kaynak ve kesme işinde çalışanlara bir anket uygulanmıştır. Toplam 62 kişiye yapılan anket neticesinde kaynakçı olarak çalışmakta iken meslek hastalığına yakalandığını beyan eden 4 kişi olmuş, iş kazası yaşayan ise 13 kişi tespit edilmiştir. Ankete göre işçilerin %24,2'si termal radyasyondan, %46,7'si titreşimden ve %82,2'sinin de gürültüden rahatsızlık duyduğu görülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda, gürültülü çalışmaların ayrı bir bölüme alınarak gürültünün izole edilmesi ve mümkün olduğunca daha az kişinin etkilenmesi ile gürültü yaratan makine veya işlerde çalışanların istisnasız kulak koruyucu kullanması gerektiği vurgulanmıştır. Termal rahatsızlığı önlemek için ise kaynak yapılan yerlerin bölmelerle birbirinden ayrılmasının ısı yükünü daha aza indirileceği belirtilmiştir.

Sabitü ve diğerleri (2009) tarafından yapılan çalışmada kaynakçıların iş sağlığı ve güvenliği farkındalığının tespiti ile alınan iş güvenliği tedbirlerine hakim olma düzeylerine ilişkin inceleme yapılmıştır. Bu kapsamda 330 kaynak çalışanına anket yoluyla ulaşılmış ve %77,9'unun işyerindeki tehlikeler konusunda farkındalıklarının bulunduğu görülmüştür. 282 çalışanın yani tüm katılımcıların %85,3'ü gibi çok yüksek bir oranda çalışanın bir önceki sene bir veya daha fazla iş kazası yaşadığı öğrenilmiştir. Yaşanan kazaların çeşidi incelendiğinde ellerde ve parmaklarda kesik veya yaralanmaların %38, göz yaralanmaları veya yabancı cisimlerin neden olduğu kazaların %17, yanıkların %14, kırıkların %4 ve uzuv kaybının ise %1 olarak tespiti yapılmıştır. Ayrıca yine bu kitle içinde sırt ağrısı yaşayanların %19 ve işitme bozukluğu bulunanların ise %7 oranında olduğu belirlenmiştir. 113 çalışanın kişisel koruyucu donanım kullandığı görülürken %60,9'unun göz koruyucu, %50,3'ünün el koruyucu, %34,5'inin ise ayak koruyucu ve %10'unun ise kulak koruyucu kullandığı tespit edilmiştir.

Ajayı ve diğerleri (2011) tarafından yapılan çalışmada kaynak çalışanlarının göz koruyucu kullanma durumları incelenmiştir. Bu çalışmada toplam 405 kaynak çalışanına ulaşılmıştır. Kaynakçılar arasında göz koruyucu kullanımı konusunda %90,6 oranında farkındalık olduğu tespit edilmiştir. Katılımcıların %67,9'unun sadece elektrik ark kaynakçısı, %22,5'inin sadece gaz altı kaynakçısı olduğu, %9,6'sının ise iki yöntemi birden kullandığı anlaşılmıştır. Elektrik ark kaynakçıların %95,6'sı göz koruyucu kullanması gerektiğini bilirken bu oran gaz altı kaynakçılarında %71,4 olarak belirlenmiştir. Kaynak çalışanlarının %45,9'unun iş esnasında yaşadığı göz yaralanması geçmişi olduğu kaydedilmiştir. Yüksek farkındalık seviyesine rağmen sadece 186 çalışanda yani %45,9'unda göz koruyucu donanım mevcut iken bu kitleden sadece %25,2'si koruyucu ekipmanlarını her zaman kullanmıştır. Göz koruyucuların kullanılmamasının nedenlerinden en yüksek ise %22,4'ü rahatsızlık vermesi olarak açıklanmıştır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma yapılan işyerleri metal sektöründe yer alan ve farklı alanlarda imalat gerçekleştiren farklı büyüklükteki işletmeler arasından seçilmiştir. İşyerlerine ilişkin genel bilgilendirmeye aşağıda yer verilen Tablo 1’de değinilmiştir.

Tablo 1. Çalışma yapılan işyerlerine ilişkin bilgiler

İŞYERİ NO	YAPILAN İŞ	ÇALIŞAN SAYISI	KULLANILAN KAYNAK TÜRLERİ	KAYNAK ÇALIŞANI SAYISI
1	Çelik konstrüksiyon yapı imalatı	47	MIG – MAG ve Toz Altı	3
2	Konveyör imalatı, maden işleme ve atık ayırma üniteleri	35	MIG – MAG ve Örtülü Elektrot	11
3	Maden makineleri, kırma eleme üniteleri	325	MIG – MAG ve TIG	15
4	Elektrik santrallerinde kullanılan metal parça ve ekipmanların montaj ve tamiri	4	MIG - MAG	1
5	Otomotiv parçaları	142	MIG – MAG ve TIG	19
6	Beton boru, menfez ve baca makineleri	8	MIG - MAG	6
7	Prefabrik konut imalatı	61	MIG - MAG	6
8	Savunma sanayii	637	MIG – MAG ve TIG	31
9	Konveyör imalatı	6	MIG - MAG	1
10	Çimento siloları	32	MIG – MAG ve Örtülü Elektrot	15
11	Paletli iş makinesi, yedek parça ve palet tamiri	2	Toz Altı	2
12	İskele, çelik kalıp	10	MIG - MAG	3
13	Biyoreaktör imalatı	15	TIG	6
14	Stadyum oturaklarının çelik konstrüksiyon imalatı	11	MIG - MAG	5
15	Kırma eleme üniteleri, asfalt plentleri, beton santralleri	13	MIG – MAG ve Örtülü Elektrot	7

Yukarıda yer verilen işyerleri çalışan sayılarına göre sınıflandırılmıştır. İşyerlerinden 100 ve üzeri çalışan istihdam edenlerin büyük, 30 ila 100 arasında çalışan istihdam eden dört işletmenin orta, 10 ila 30 arasında çalışan istihdam



eden işyerlerinin ise küçük, 10'dan az çalışanı olan işletmelerin ise mikro sınıfta yer alan işletmeler olduğu kabul edilmiştir. Bu kabul doğrultusunda 15 işyerinin 3 tanesinin (%20) büyük sınıfta, 4 tanesinin (%26,67) orta sınıfta, 4 tanesinin (%26,67) küçük sınıfta ve 4 tanesinin (%26,67) de mikro sınıfta bulunduğu görülmüştür. Yapılan sınıflandırma neticesinde işyeri seçiminin ve büyüklük dağılımının dengeli olduğu kabul edilmiştir. Sonuç olarak üçüncü, beşinci ve sekizinci işyerleri büyük; birinci, ikinci, yedinci ve onuncu işyerleri orta; on ikinci, on üçüncü, on dördüncü ve on beşinci işyerleri küçük; dördüncü, altıncı, dokuzuncu ve on birinci işyerleri ise mikro sınıfta yer almıştır. Sonuç olarak büyük sınıftaki işyerlerinde toplam 65, orta sınıftaki işyerlerinde 35, küçük sınıftaki işyerlerinde 21 ve mikro sınıftaki işyerlerinde ise 10 kaynak çalışanı olmak üzere toplam 131 kaynak çalışanı ankete katılım sağlamıştır. İşyerlerinde kaynak çalışanlarına uygulanan anket örneğine ise Tablo 2'de yer verilmiştir. İşyerlerinde kaynak çalışanlarına uygulanan anket örneğine ise Tablo 2'de yer verilmiştir.

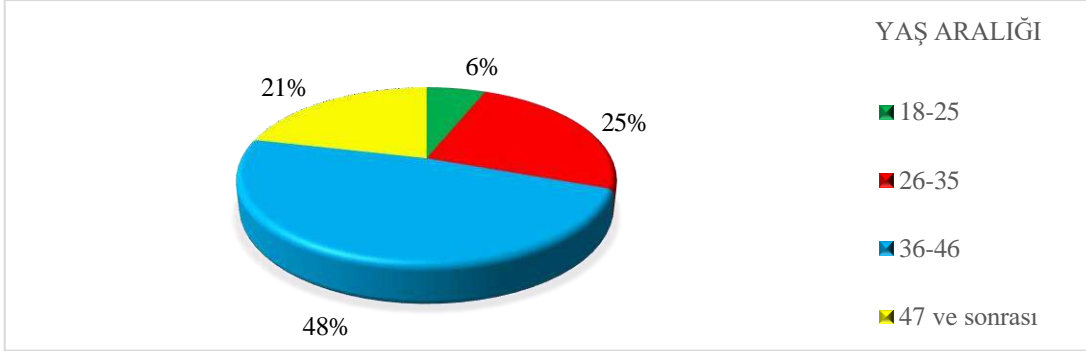
Tablo 2. Kaynak çalışanlarına yöneltilen anket soruları

SORULAR	YANITLAR		
1) Yaş aralığınız	<input type="checkbox"/> 14-17 <input type="checkbox"/> 26-35	<input type="checkbox"/> 18-25 <input type="checkbox"/> 36-46	<input type="checkbox"/> 47 ve sonrası
2) Eğitim durumunuz	<input type="checkbox"/> Okula gitmemiş <input type="checkbox"/> Meslek Lisesi	<input type="checkbox"/> İlkokul <input type="checkbox"/> Lise	<input type="checkbox"/> Ortaokul <input type="checkbox"/> Yüksekokul
3) İşinizle ilgili mesleki eğitim aldınız mı?	<input type="checkbox"/> Evet	<input type="checkbox"/> Hayır	
4) Günde kaç saat kaynak işi yapıyorsunuz?	<input type="checkbox"/> 1 saatten az <input type="checkbox"/> 5-6 saat	<input type="checkbox"/> 1-2 saat <input type="checkbox"/> 7-8 saat	<input type="checkbox"/> 3-4 saat <input type="checkbox"/> 8 saatten fazla
5) İş sağlığı ve güvenliği konusunda eğitim aldınız mı?	<input type="checkbox"/> Birden çok defa	<input type="checkbox"/> Bir kez	<input type="checkbox"/> Hiç almadım
6) Eğitim alınmış ise, işyerinde aldığımız iş sağlığı ve güvenliği eğitimi ne kadar süre tutmuştu?	<input type="checkbox"/> 2 saatten az <input type="checkbox"/> 2 gün	<input type="checkbox"/> Yarım gün <input type="checkbox"/> 2 günden çok	<input type="checkbox"/> 1 gün
7) İşe girerken sağlık muayenesi oldunuz mu?	<input type="checkbox"/> Evet	<input type="checkbox"/> Hayır	
8) İşyerinizde risk değerlendirmesi yapılıyor mu?	<input type="checkbox"/> Evet	<input type="checkbox"/> Hayır	
9) Acil durumlara yönelik olarak eğitim ve tatbikat yapıldı mı?	<input type="checkbox"/> Evet	<input type="checkbox"/> Hayır	
10) (9 uncu sorunun cevabı evet ise) İşyerinde acil durumlara ilişkin eğitim ve tatbikat yapılıyorsa, acil durumları (yangın, patlama, deprem vb.) önlemek adına ne düzeyde tedbir almıyor?	<input type="checkbox"/> Tamamen <input type="checkbox"/> Çok az	<input type="checkbox"/> Kısmen <input type="checkbox"/> Hiç yok	<input type="checkbox"/> Orta
11) İşyerinizde çalışan temsilcisi var mı?	<input type="checkbox"/> Evet	<input type="checkbox"/> Hayır	
12) İşyerinizde görevli iş güvenliği uzmanı var mı?	<input type="checkbox"/> Evet	<input type="checkbox"/> Hayır	
13) (12 inci sorunun cevabı evet ise) İş güvenliği uzmanı bir ayda ne kadar süre ile işyerinde hizmet veriyor?	<input type="checkbox"/> Yarım gün <input type="checkbox"/> 5 günden çok	<input type="checkbox"/> 1-2 gün <input type="checkbox"/> Tam zamanlı	<input type="checkbox"/> 3-5 gün
14) İşyerinizde görevli işyeri hekimi var mı?	<input type="checkbox"/> Evet	<input type="checkbox"/> Hayır	
15) (14 üncü sorunun cevabı evet ise) İşyeri hekimi bir ayda ne kadar süre ile işyerinde hizmet veriyor?	<input type="checkbox"/> Yarım gün <input type="checkbox"/> 5 günden çok	<input type="checkbox"/> 1-2 gün <input type="checkbox"/> Tam zamanlı	<input type="checkbox"/> 3-5 gün
16) Kaynak yaparken kişisel koruyucu donanım (baret, maske, eldiven...) kullanıyor musunuz?	<input type="checkbox"/> Evet	<input type="checkbox"/> Hayır	
17) Kişisel koruyucu donanımları nasıl kullanmanız gerektiği ile ilgili eğitim aldınız mı?	<input type="checkbox"/> Evet	<input type="checkbox"/> Hayır	
18) Kaynak yaparken herhangi bir iş kazası geçirdiniz mi?	<input type="checkbox"/> Evet	<input type="checkbox"/> Hayır	

## 4. BULGULAR

### 4.1. Çalışanların Genel Profili

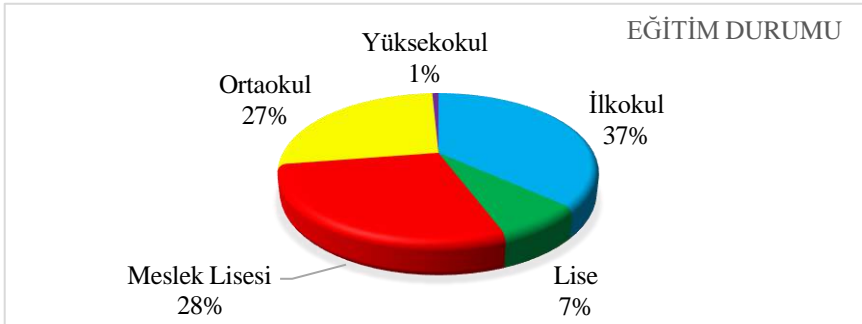
Anket esnasında çalışanların genel profilini anlamak adına çalışanlara yaşları, eğitim düzeyleri, mesleki eğitim alma durumları ve çalışma süreleri konusunda 4 adet soru sorulmuştur. Bu sorulara ilişkin verilen yanıtlar aşağıda grafikler ile gösterilmiştir. Ankete katılan 131 kaynak çalışanın yaş aralıkları Şekil 1’de verilmiştir.



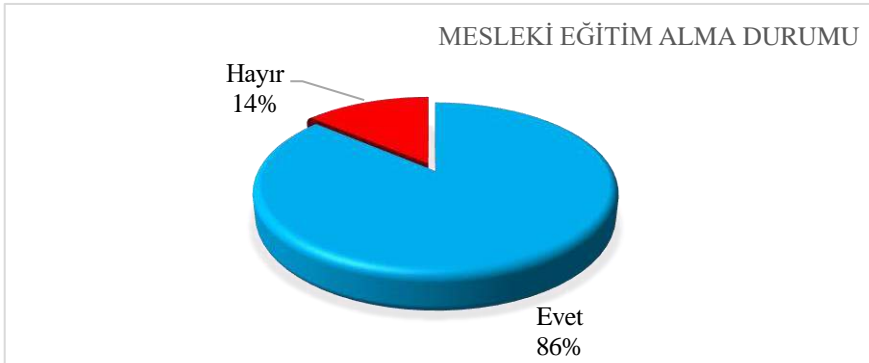
Şekil 1. Kaynak çalışanlarının yaş aralığı dağılımı

Şekil 1’de görüldüğü üzere kaynak çalışanlarının neredeyse yarısına tekabül eden %48’lik bölümü 36 – 46 yaş aralığında yer almaktadır. İkinci büyük grup ise %25 ile 26 – 35 yaş aralığı olmuştur. 47 yaş üzeri grup %21’lik dilimde kalırken %6’sının ise 18 – 25 yaş aralığında olduğu gözlemlenmiştir.

Kaynak çalışanlarının genel eğitim durumu Şekil 2’de gösterilirken kaynak işine uygun olarak mesleki eğitim alma durumları ise Şekil 3’te paylaşılmıştır.



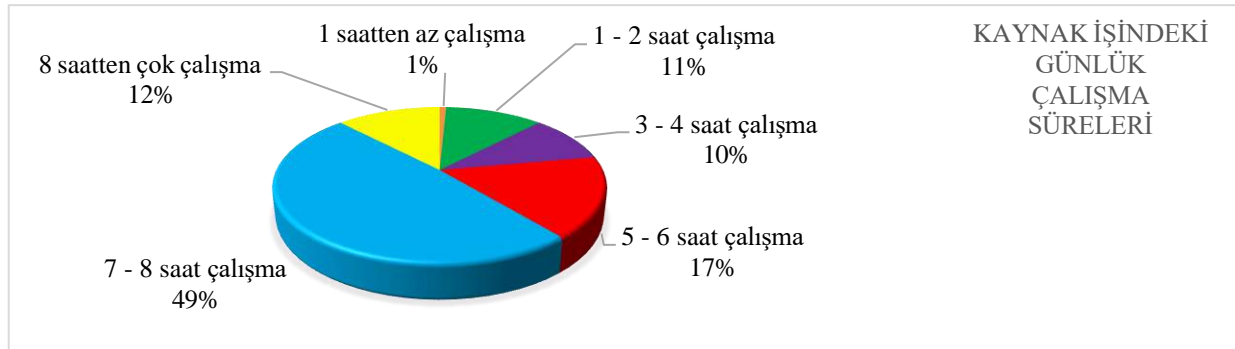
Şekil 2. Kaynak çalışanlarının genel eğitim durumu



Şekil 3. Kaynak çalışanlarının mesleki eğitim alma durumu

Yukarıda yer verilen grafikler incelendiğinde 131 kaynak çalışanın sadece %28'inin meslek lisesi mezunu olduğu görülmüştür. %7'lik kesim diğer liselerden, %1'i ise yüksekokuldan mezun olan çalışanların %64'lük genel ekseriyeti ilkökul veya ortaokul mezunu olarak mesleğini icra etmektedir. Buna rağmen kaynak çalışanlarının %86'sının mesleki eğitimlerini tamamladıkları görülmüştür. Mesleki eğitim zorunluluğu bulunmayan meslek lisesi ve yüksekokul mezunları haricinde yer alan %71'lik kesimden yalnızca %14'ünün mesleki eğitim belgesine sahip olmadığını ortaya koymuştur. Kaynak çalışanları için mesleki yeterlilik belgesinin zorunlu olmasına rağmen alınan mesleki eğitimlerin mesleki yeterlilik seviyesine karşılayıp karşılamadığı ise sorgulanmamıştır.

Kaynak çalışanlarının çalışma sürelerine ilişkin düzenleme, 16/7/2013 tarihli ve 28709 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Sağlık Kuralları Bakımından Günde Azami Yedi Buçuk Saat veya Daha Az Çalışılması Gereken İşler Hakkında Yönetmelik ile belirlenmiştir. Yönetmelik uyarınca; her çeşit koruyucu gaz altında yapılan kaynak işleri, toz altı kaynak işleri ve oksijen ve elektrik kaynağı işlerinde çalışanların bir günde maksimum 7,5 saat çalışabileceği hüküm altına alınmıştır. Bu doğrultuda, kaynak işi esnasında harcanan mesai süresi çalışanlara sorulmuş, alınan yanıtlar Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Kaynak çalışanlarının günlük çalışma süreleri

Şekil 4'te kaynak çalışanlarının %66'sının 7 saat ve daha üzerinde sürelerde mesleğini icra ettiği tespit edilmiştir. Bu durum, kaynak işi ile uğraşan çalışanların yaklaşık üçte ikil kesiminin yalnızca kaynak yaptığını, diğer imalat faaliyetlerine dahil olmadıkları sonucunu ortaya koymuştur. 7 – 8 saat çalışanların işyerlerinde azami yasal süreye riayet edildiği kabul edilmiş olmakla beraber 8 saatten çok kaynak işi yaptığını beyan eden %12'lik kesimin mevcut mevzuat hükümlerine uyulmadan çalıştırıldıkları görülmüştür.

#### 4.2. İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamalarına Yönelik Sorular ve Cevaplar

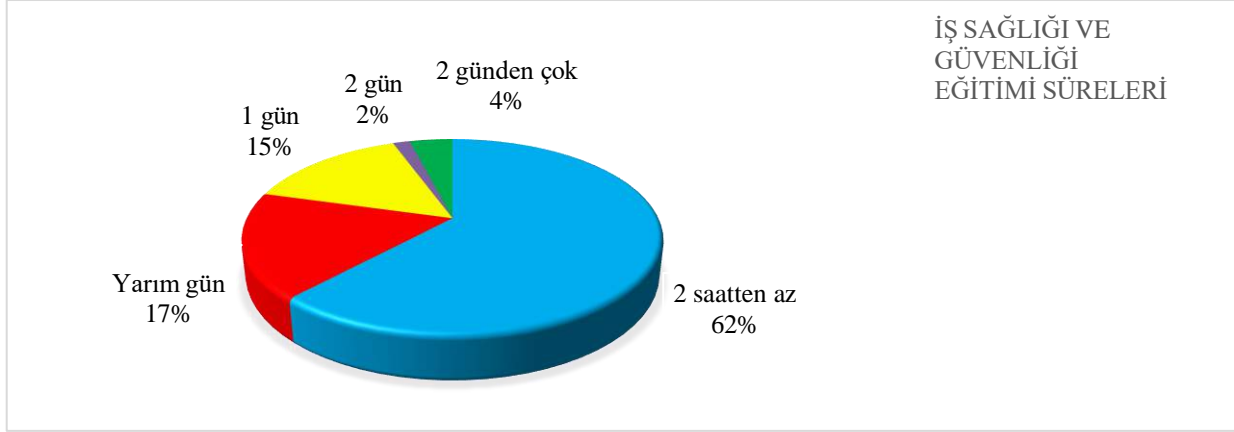
İş sağlığı ve güvenliği mevzuatı uygulamalarını gözlemlemek adına 10 adet temel, 4 adet de temel sorularda verilen cevaba göre ikincil soru sorulmuş, temel sorular ile bu sorulara verilen cevaplar Tablo 3'te izah edilmiştir. Temel sorular, 131 çalışanın tamamına uygulanmasına rağmen çalışanların bilemedikleri soruları cevaplayamaması nedeniyle tüm soruları tüm katılımcılar yanıtlamamıştır. Bu soruların genel konulardan seçilmiş ve tüm işyerleri için zorunlu olması nedeniyle işyerleri arasında ayırım yapılmaksızın tüm çalışanlar aynı kapsamda değerlendirilmiştir.

Tablo 3. İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarına yönelik temel sorular ve cevapları

SORU NO	SORU	EVET CEVABI VEREN SAYISI	HAYIR CEVABI VEREN SAYISI
1	İş sağlığı ve güvenliği konusunda eğitim aldınız mı?	128	3
2	İşe girerken sağlık muayenesi oldunuz mu?	117	14
3	İşyerinizde risk değerlendirmesi yapılıyor mu?	101	28
4	Acil durumlara yönelik eğitim ve tatbikat yapılıyor mu?	106	25
5	İşyerinizde çalışan temsilcisi var mı?	90	41
6	İşyerinizde görevli iş güvenliği uzmanı var mı?	105	25
7	İşyerinizde görevli işyeri hekimi var mı?	116	14
8	Kişisel koruyucu donanım kullanıyor musunuz?	127	4

9	Kişisel koruyucu donanım kullanımı ile alakalı eğitim aldınız mı?	103	23
10	Kaynak yaparken herhangi bir iş kazası geçirdiniz mi?	10	121

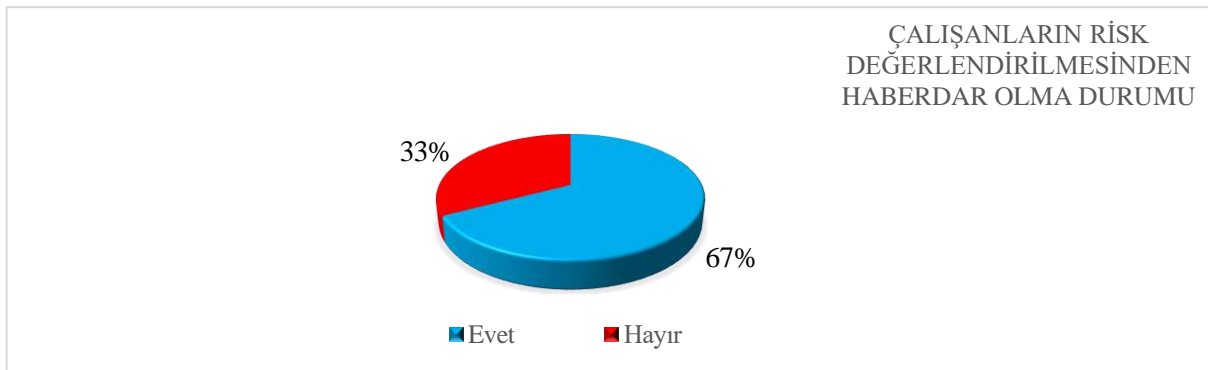
Tablo 3'te anket esnasında sorulan evet – hayır sorularına verilen yanıtların dağılımı belirtilmiştir. Bu sorulardan bazılarının detayları konusunda ikincil sorular sorulmuştur. Bu sorulara verilen yanıtlar aşağıda grafiklerle gösterilmiştir. İlk soruya verilen yanıt uyarınca çalışanların 3'ü hariç olmak üzere toplam 128 kişi iş sağlığı ve güvenliği konusunda temel eğitimi aldıklarını beyan etmiştir. Temel eğitim ne kadar süre tuttuğu sorulduğunda ise Şekil 5'te yer verilen dağılım ortaya çıkmıştır.



Şekil 5. İş sağlığı ve güvenliği eğitimi alanların, aldıkları eğitimin süreleri

Şekil 5'te görüldüğü üzere çalışanların %79'unun almış oldukları iş sağlığı ve güvenliği temel eğitimi yarım gün veya daha az sürelerde tutmuştur. Bu sürelerin, 15/5/2013 tarihli ve 28648 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Usul ve Esasları Hakkında Yönetmeliği'nde iş sağlığı ve güvenliği temel eğitimleri için belirtilen asgari sürelerin altında olduğu görülmüştür. İşyerlerinin tehlikeli sınıfta olduğu ve bu tehlike sınıfı için en az iki yılda bir kez ve 12 saat iş sağlığı ve güvenliği temel eğitiminin çalışanlara verilmesi zorunluluğuna uyulmadığı anlaşılmıştır.

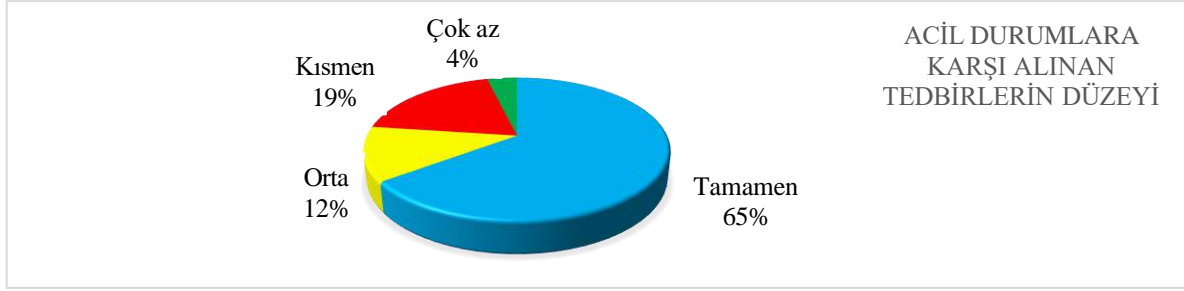
Tablo 3'te görüldüğü üzere 129 çalışandan 101'i işyerinde risk değerlendirmesinin yapıldığını beyan etmiştir. Bu çalışanlara sorulan ikinci soru ile çalışanların yapılan risk değerlendirmesinden haberlerinin olup olmadığı sorgulanmıştır. Şekil 6'da bu soruya ilişkin dağılım gösterilmiştir.



Şekil 6. Yapılan risk değerlendirmesinden çalışanların haberdar olma durumu

Şekil 6'da görüldüğü üzere kaynak çalışanlarının üçte birlik kesiminin işyerlerinde gerçekleştirilen risk değerlendirmesinin içeriğinden ve alınan tedbirlerden haberdar olmadıkları anlaşılmıştır. Bu sonuç, risk değerlendirmesi ekibinde bulunması gereken çalışan temsilcisi ile destek elamanlarının yeteri kadar sürece dahil olmadıklarını, bazı işyerlerinde yapılan risk değerlendirmelerinin yalnızca dokümantasyon olarak tutulduğu ve hayata geçirilmediğini ortaya çıkarmıştır.

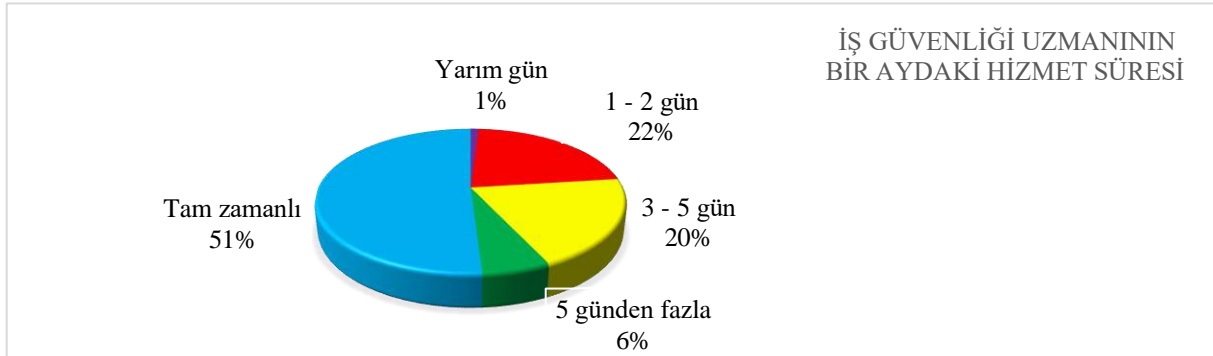
İşyerlerinde acil durumlara yönelik olarak eğitim ve tatbikat yapılmasına yönelik soruya 131 çalışanın 106'sı olumlu yönde cevap vermiştir. Bu çalışanlara ayrıca, işyerlerinde acil durumlara yönelik alınan tedbirlerin hangi seviyede olduğu konusunda görüşleri de sorulmuştur. Elde edilen veriler, Şekil 7'de paylaşılmıştır.



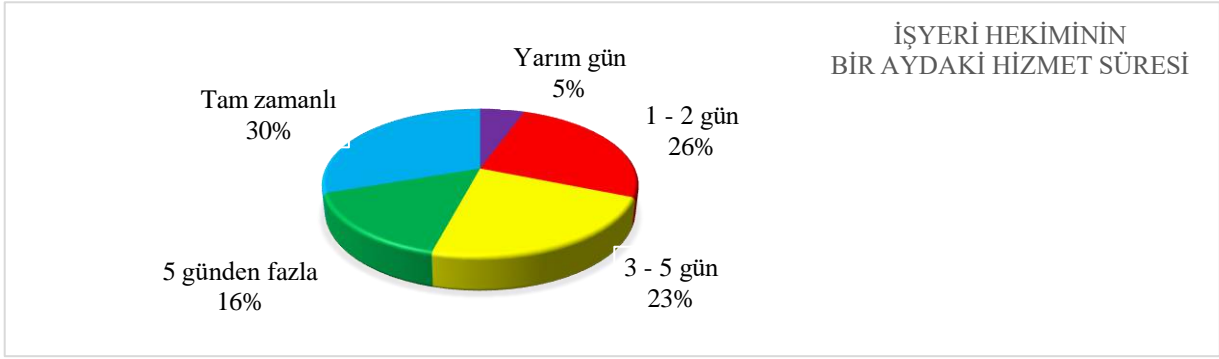
Şekil 7. Çalışanlara göre işyerlerinde acil durumlara yönelik alınan tedbirlerin düzeyi

Şekil 7'de görüldüğü üzere yangın, doğal afet veya patlama gibi işyerlerinde acil durumlara yönelik tedbirleri uygun bulan çalışanlar %65 seviyesinde kalırken %35'lik kesim tedbirlerin eksik veya yetersiz olduğunu beyan etmiştir. Bu durum, işyerlerinin üçte birinde acil durum ve tahliye planlamasının düzgün yapılamadığı, destek elamanlarından istifade edilemediği, yapılan eğitim ve tatbikatların yeterli seviyede olmadığı sonucunu vermiştir.

İş sağlığı ve güvenliği konusunda işverenlere alınması gereken önlemleri, tavsiyeleri bildiren ve rehberlik yapan iş güvenliği uzmanları ile işyeri hekimlerinin işyerlerindeki çalışma süreleri, işyerlerinin çalışan sayısına göre belirlenen asgari sürelerde veya bu sürelerin üzerinde olacak şekilde belirlenmiştir. İş güvenliği uzmanları ve işyeri hekimleri; iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının işyerlerinde hayata geçirilmesi adına kritik bir rol üstlenmekte, iş kazaları ile meslek hastalıklarının önlenmesi adına yaptıkları çalışmalar ile hem işverenleri hem de çalışanları korumaktadır. Bu sebeplerle özellikle tehlikeli ve çok tehlikeli sınıfta yer alan tüm işyerleri için görevlendirilme zorunluluğu olan iş güvenliği uzmanları ile işyeri hekimlerinin işyerlerinde hizmet verdikleri süreler büyük önem arz etmektedir. İş sağlığı ve güvenliğine ilişkin düzeltici ve önleyici yaklaşımın işveren tarafından hayata geçirilebilmesi, çalışanların da bu uygulamalara riayet etmesi adına işyerlerindeki çalışan sayılarına paralel olarak artan çalışma sürelerine riayet edilmesi zorunluluğu mevcuttur. Tablo 3'te kaynak çalışanlarının 105'i işyerlerinde iş güvenliği uzmanı bulunduğunu, 25'i ise böyle bir hizmetin mevcut olmadığını beyan etmiştir. Çalışanlardan 116'sı ise işyerlerinde işyeri hekiminin görevlendirilmiş olduğunu, 14'ü ise işyeri hekimliği hizmetinin işyerlerinde bulunmadığını söylemiştir. Bu durumlar uyarınca işyerlerinde iş güvenliği uzmanı ve işyeri hekimi görevlendirilmiş olan çalışanlara ikincil olarak görevlendirilen uzman ve hekimlerin ne kadar süre ile işyerinde hizmet verdiği sorulmuştur. Bu sorulara verilen cevaplar Şekil 8 ve 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8. Çalışanlara göre iş güvenliği uzmanının işyerine bir ayda verdiği hizmet süresi



Şekil 9. Çalışanlara göre işyeri hekiminin işyerine bir ayda verdiği hizmet süresi

Şekil 8 ve Şekil 9 incelendiğinde ve de işyerlerinin çalışan sayıları göz önünde bulundurulduğunda büyük sınıftaki işletmelerin tam süreli iş güvenliği uzmanı ve işyeri hekimi hizmeti aldığı, orta sınıfta olanların ise bir ay içinde birkaç gün olacak şekilde uzman ve hekimi işyerlerinde bulundurduğu anlaşılmıştır. Küçük sınıfta ve mikro işletmelerin hem çalışma alanının dar hem de çalışan sayısının az olması nedeniyle mevzuatın öngördüğü ölçüde daha düşük sürelerde iş güvenliği uzmanı ve işyeri hekimi görevlendirmesi yapmış olmasının kabul edilebilir bir durum olduğu belirlenmiştir. Çalışan sayısının daha fazla olduğu büyük ve orta sınıftaki işletmelerde daha çok kaynak çalışanın bulunması ve dolayısıyla bu işyerlerinde daha fazla anket uygulanmış olması görevlendirme sürelerinin yüksek seviyelerde tespit edilmesi sonucunu doğurmuştur. Çalışanların beyanı doğrultusunda, iş güvenliği uzmanı ve işyeri hekimi görevlendirmelerine ilişkin sürelerin yasal olarak uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

#### 4. SONUÇ

Kaynak çalışanlarına uygulanan anket sonucunda ortaya çıkan genel profil değerlendirildiğinde kaynak çalışanlarının genç nüfus içerisinde yer almadığı, daha çok orta ve ileri yaşa sahip oldukları anlaşılmıştır. Kaynakçıların %69'u 36 yaş ve üzerinde olup bu veri de ankete katılanların üçte ikisinden fazlasının belirli bir tecrübeye sahip olduğunu göstermiştir. Kaynak işine gençlerin ilgi göstermediği sonucu da dağılımın dengeli olmaması nedeniyle çıkarılabilecek sonuçlar arasındadır. Kaynak çalışanlarının eğitim durumu incelendiğinde %71'inin ilkökul, ortaokul ve lise mezunu olduğu görülmektedir. Mesleki bilgisi olmadan kaynak işine başlayıp devam eden kitlenin genel ekseriyeti oluşturması mesleki yeterlilik kavramının gerekliliğini kanıtlamaktadır. Mesleki eğitim aldığını beyan eden %86'lık kitlenin mesleki eğitim düzeyinin incelenmesi ise ayrı bir çalışma konusudur.

Kaynak çalışanlarına uygulanan toplam 131 anketin 65'i büyük sınıfta yer alan işyerlerinde çalışanlara yapılmıştır. Bu durum, anket sonuçlarının yaklaşık olarak yarı yarıya büyük sınıftaki işyerlerinden elde edilen verilere göre şekillendiğini göstermiştir. Nitekim iş güvenliği uzmanı ile işyeri hekiminin tam süreli çalıştırılması veya bir aylık sürede haftada bir veya birkaç gün işyerine hizmet veriliyor olması, büyük sınıftaki işyerlerinin çalışan sayıları göz önünde bulundurulduğunda mümkün olan bir durumdur. Mevcut mevzuat gereği, işyerlerinin çalışan sayılarına göre iş sağlığı ve güvenliği asgari hizmet süresi belirlendiğinden bünyesinde daha fazla çalışan istihdam eden işyerleri daha uzun sürelerde iş sağlığı ve güvenliği hizmeti almak veya temin etmekle mükelleftir. Bu doğrultuda, ankete verilen yanıtlar uyarınca işyerlerinin yarısında tam zamanlı iş güvenliği uzmanı, yaklaşık üçte birinde tam zamanlı işyeri hekimi bulunduğu tespit edilmiş olup bu durumun büyük sınıfta bulunan işyerlerinin ankete katılım oranı ile bütünlük arz ettiği anlaşılmıştır. Aynı şekilde, acil durumlara ilişkin alınan tedbirlerin uygunluğu ile işyerlerinde yapılan risk değerlendirmesinin bilinirliğinin hemen hemen üçte iki seviyelerinde belirlenmiş olmasını, iş sağlığı ve güvenliği profesyonellerin düzenli olarak çalıştıkları işyerlerinden anket katılımının yüksek olması ile açıklamak mümkündür. Bu kabulü desteklemeyen durum ise iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin süresine ilişkin verilen cevaplardan elde edilen bulgudur. Çalışma kapsamında ziyaret edilen işyerlerinin tehlikeli sınıfta yer alması ve mevcut mevzuat uyarınca tehlikeli sınıfta bulunan işyerleri için iki yıl içinde en az on iki saat iş sağlığı ve güvenliği eğitiminin çalışanlara verilmesi zorunludur. On iki saatlik eğitim bir buçuk güne tekabül etmekte olduğu için çalışanların %80'lik geniş bir kesiminin yarım güne karşılık gelen dört saat veya daha az sürede iş sağlığı ve güvenliği eğitimi almış olduklarını beyan etmeleri tutarsızlık yaratıyor gibi görünüyor olmasına rağmen gerçekçi bulunmuştur. Bu durumun yaşanmasındaki en temel sebepler; eğitimler için belirlenmiş olan mevcut asgari sürelerle uyulmakta güçlük çekilmesi, yetişkin çalışanların eğitimlere ilgi göstermemesi, yetişkin eğitiminin düşük yaş gruplarına nazaran daha zor oluşu ve düzenli olarak aynı eğitim



içeriklerinin tekrarlanması gerektiğine ilişkin yanlış algı gibi birçok dezavantajı bünyesinde barındırmasından kaynaklanmaktadır. İşyeri büyüklüğü fark etmeksizin ankete katılan tüm çalışanların eğitime katılım süreleri ile ilgili olarak verdikleri cevapların en düşük düzeyde gerçekleşmesi, çalışanlara yeterli sürede eğitim verilmediği şeklinde yorumlamak mümkün olabileceği gibi çalışanların verilen eğitimden faydalandıkları süreleri belirtmiş olmalarının da olası olabileceği öngörülmüştür.

Literatürde yer verilen çalışmalarda kaynak çalışanlarının fiziksel ve kimyasal etkenler başta olmak üzere birçok tehlikeye maruz kalarak çalıştığı görülmüş, bu tehlikeler nedeniyle kaynak çalışanlarının sıklıkla iş kazası yaşadığı veya meslek hastalıklarına yakalandıkları anlaşılmıştır. Yapılan çalışmaların hemen hepsinde kaynak çalışanlarının kişisel koruyucu donanım kullanımı sorgulanmış, iş sağlığı ve güvenliği algısının kişisel koruyucu donanım seviyesinde kaldığı görülmüştür. Bu çalışmada da çalışanların hemen hepsi kişisel koruyucu donanım kullandığını beyan etmiştir. Ancak anket uygulaması esnasında yapılan gözlemler durumun gerçekçi olmadığını, çalışan beyanları ile saha uygulamalarının uyumadığını göstermiştir. Yine çalışanların kişisel koruyucu donanım kullanımını konusunda eğitim alma seviyesi ile kullanım durumu karşılaştırıldığında farklılık bulunduğu görülmüş, kişisel koruyucu kullanımı konusunda eğitim alma oranının düşük kaldığı gözlemlenmiştir. Yapılan değerlendirmelerde, iş kazası yaşayan 10 çalışanın hafif veya ağır yaralanmalı ve gün kayıplı kaza geçirdikleri görülmüştür. Bu da basit yaralanmaların ve gün kaybı olmayan kazaların iş kazası sayılmadığını göstermiştir. Çalışanların ramak kala konusundaki bilgi seviyelerinin çok düşük olduğu, işyerlerinin bu konuda veri toplamakta başarısız olduğu anlaşılmıştır.

Sonuç olarak her ne kadar iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin yetersizliği görülmüş olsa da iş sağlığı ve güvenliği profesyonellerinin büyük işyerlerinde bil fiil çalışma alanında yer almasının yarattığı avantaj sayesinde çalışanların iş sağlığı ve güvenliği duyarlılıklarının üst düzeyde olduğu ve çalışan algısının bulunduğu görülmüştür. Bu durum da çalışanların iş sağlığı ve güvenliği bilincinin diğer işletmelerde çalışanlara nazaran daha yüksek olduğunu göstermiştir.

## KAYNAKÇA

Ajayi A. I., Adeoye A. O., Bekibele C. O., and Onakpoya O. H. (2011). Awareness and utilization of protective eye device among welders in a southwestern Nigeria community. *Annals of African Medicine*, 10(4), 294-299.

Bayraktar, G. (2016). *İşyerlerinde Aydınlatma Koşullarının İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden Değerlendirilmesi*. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 4-53.

Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik. (2013). T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete, 28648.

İş Güvenliği Uzmanlarının Görev, Yetki, Sorumluluk ve Eğitimleri Hakkında Yönetmelik. (2012). T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete, 28512.

İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği. (2012). T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete, 28509.

İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği. (2012). T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete, 28512.

İş Sağlığı ve Güvenliği ve Çalışma Ortamına İlişkin 155 Sayılı Sözleşme, İş Sağlığı Hizmetlerine İlişkin 161 Sayılı Sözleşme. (2004). T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete, 25404.

İşyeri Hekimi ve Diğer Sağlık Personelinin Görev, Yetki, Sorumluluk ve Eğitimleri Hakkında Yönetmelik. (2013). T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete, 28713.

İzgi, A. (2006). *Kaynak Endüstrisinde Çalışanların Genel Profili ve İş Kazaları Üzerine Bir İnceleme*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 55-89.

Joseph, N., Venkatesh, V., Akash S. K., Hegde, S., Moras, E., and Shenoy N. P. (2017). Occupation Hazards – Pattern, Awareness and Preventive Measures among Welders from an Unorganized Sector in India. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 11(5), 23-28.

Kaymaz, Ö. (2014). *Kaynak İşlerinde İş Kazası ve İşe Bağlı Sağlık Problemlerine Neden Olan Faktörler ve KKD Kullanımının Bu Faktörlere Etkileri Üzerine Çevresel ve Teknik Araştırma*. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara, 32-62.

Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik. (2013). T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete, 28695.

Tadesse, S., Bezabih, K., Destaw, B., and Yalemzewod, A. (2016). Awareness of occupational hazards and associated factors among welders in Lideta Sub-City, Addis Ababa, Ethiopia. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 11(15), 1-6.

Tagurum O. Y., Gwomson D. M., Yakubu M. P., Igbita A. J., Chingle P. M., and Chirdan O. O. (2018). Awareness of occupational hazards and utilization of PPE amongst welders in Jos metropolis, Nigeria. *International Journal of Research in Medical Sciences*, 6(7), 2227-2233.

Sabitu, K., Iliyasu, Z., and Dauda M. M. (2009). Awareness of Occupational Hazards and Utilization of Safety Measures Among Welders in Kaduna Metropolis, Northern Nigeria. *Annals of African Medicine*, 8(1), 46-51.

Sağlık Kuralları Bakımından Günde Azami Yedi Buçuk Saat veya Daha Az Çalışılması Gereken İşler Hakkında Yönetmelik. (2013). T.C. Cumhurbaşkanlığı Resmi Gazete, 28709.

# Kaynak Operasyonlarında Makineleşmenin İsg Açısından Yarattığı Risk ve Fırsatlar

Safa Atay<sup>1</sup>, Mehmet Uyanık<sup>2</sup>, Umut Can Aydın<sup>3</sup>  
*1*Nurol Makina, İsg Mühendisi  
*safa.ata@nurolmakina.com.tr*, +90 312 470 30 00  
*2* Nurol Makina, Çevre Mühendisi  
*mehmet.uyanik@nurolmakina.com.tr*, +90 312 497 43 00  
*3* Nurol Makina, İmalat Mühendisi  
*umut.aydin@nurolmakina.com.tr*, +90 312 497 43 00

## 1. ÖZET

Günümüzde yoğun talebe bağlı arzı yetiştirebilmek adına sürekli artan üretim adetleri ve maliyetlerin düşürülmesi zorunluluğu nedeni ile üretim alanlarının tüm noktalarında makineleşmeye gidilmektedir.

Teknolojinin gelişmesi her alanda büyük kolaylıklar sağlamakta ancak bunun yanı sıra da riskleri beraberinde getirmektedir. Kaynak alanında da teknolojinin gelişmesi özellikle imalat alanında büyük yararlar sağlamakla birlikte riskleri de bulunmaktadır.

Bu yazımızda işletmemizde yapılan kaynak operasyonlarında makineleşme ile beraber meydana gelecek olan ergonomi, maruziyet süresi, operasyon süresi, enerji v.b konuların oluşturduğu riskleri ve fırsatları inceleyeceğiz.

## ABSTRACT

Today, in order to meet the intense demand, mechanization is being implemented at all points of production areas due to the ever-increasing production quantities and the necessity of reducing costs.

The development of technology provides great convenience in every field, but it also brings risks. Although the development of technology in the field of welding provides great benefits, especially in the field of manufacturing, it also has risks.

In this article, we will examine the risks and opportunities created by issues such as ergonomics, exposure time, operation time, energy, etc. that will arise with mechanization in the welding operations carried out in our facility.

## 2. GİRİŞ

İnsan hayatının önemi ve korunması gerekliliğini belirten en temel haklardan olan yaşam hakkı Avrupa İnsan Hakları Sözleşmesi ile koruma altına alınmıştır. Günümüzde artan nüfus ve sanayileşme ile kaynaklı imalat her geçen yıl daha da artmaktadır. Kaynak operatörleri birçok koşulda bu faaliyetleri gerçekleştirmeye çalışırken bazı iş kazaları ve meslek hastalıkları meydana gelmektedir. Bu nedenle iş güvenliği kapsamında yapılan çalışmalar önem kazanmaktadır. [1].

Ülkemizde SGK 2022 verilerine göre kazalara bağlı olarak 588.823 kişi iş kazası geçirmiş ve 953 kişi meslek hastalıklarına yakalanmıştır. Yine aynı verilere göre bu kazalara bağlı olarak 1517 kişi, meslek hastalıklarına bağlı olarak ise 8 kişi hayatını kaybetmiştir. Bunların haricinde yaşanan kayıp günlük iş kazaları ise 4.808.409 adam/gün olarak meydana gelmiştir. [2].

Gerçekleşen iş kazaları ve meslek hastalıkları göz önünde tutularak teknolojik gelişmeler ışığında işletmemizde yapılabilecek proses iyileştirmeleri irdelenmiştir. Bu çalışmalar ile işletmemizde yapılan risk değerlendirmeleri sonucunda risk skoru yüksek görülen alanlardan başlayarak yeni önlemler alınmış ve risk skoru düşürülmüştür.

Risk değerlendirmesi, herhangi bir sistemde tehlikelerden kaynaklanan risklerin büyüklüğünü tahmin etme ve mevcut kontrollerin yeterliliğini dikkate alarak bu risklerin kabul edilebilir olup olmadığına karar verme sürecidir. [3] Risk değerlendirme yöntemleri, riski hesaplarken sayısal yöntemlere başvurur. Bu sayısal yöntemler, olasılık ve güvenilirlik teoremleri gibi basit teknikler olabileceği gibi, simülasyon modelleri gibi karmaşık tekniklerde olabilir. Kantitatif risk analizinde tehlikeli bir olayın meydana gelme ihtimali, tehlikenin etkisi gibi değerlere sayısal değerler verilir ve bu değerler matematiksel ve mantıksal metotlar ile işlenip risk değeri bulunur.

$$\text{Risk} = \text{Olasılık} * \text{Siddet} * \text{Frekans}$$

## 3. KAYNAK OPERASYONLARI

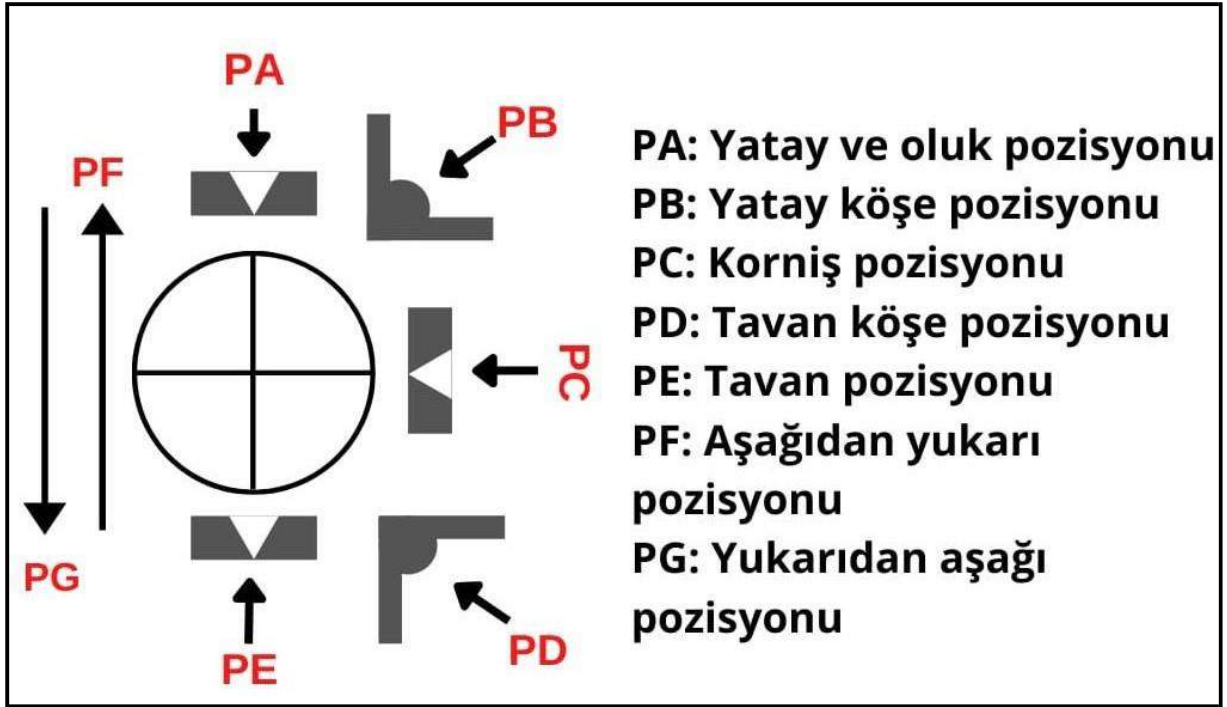
Kaynak operasyonlarına ait detayları daha iyi anlamak adına öncelikle kullandığımız kaynak tekniğini anlamamız gerekmektedir. Firmamızda metalik malzemeyi ısı ve ilave malzeme kullanarak birleştirme yapmaktayız. Kaynak yapılan malzeme zırh plakası olup, iyi tokluk ve çatlama direnci ile kaliteli bir kaynak sağlayan 307 ve 110 tel kullanılmaktadır.

Kaynak operasyonu sırasında kullanılacak kaynak ağız detayı, kaynak yöntemi, kaynak telinin tip ve çapı, akım, voltaj, kaynak paso sayısı ve kaynak pozisyonu bilgilerini içeren Kaynak Prosedürü Şartnamesi (WPS) hazırlanır. Buradaki her enstrüman kaynak operasyonu için kritiktir. Ancak konuyu çalışan ergonomisi ve isg açısından ele alacak olursak en önemli veri kaynak operasyonu sırasında kullanılacak olan kaynak pozisyonudur.

Kaynak pozisyonu kaynağın yapılış yönü ve kaynatılacak malzemelere ait bileşim noktasının serbest uzayda duruş doğrultusuna göre ayrışır.

PA, PB, PC, PD, PE, PF, PG, PH ve PJ kodlarıyla sembolize edilen kaynak pozisyonlarının açıklamalarını şu şekilde yapabiliriz;

- PA – Oluk pozisyonu olarak adlandırılır. Düz olarak yerleştirilmiş iki malzeme üzerinde elektrod uygun bir açı ile tutularak kaynak uygulaması yapılır.
- PB – Köşe kaynak pozisyonu olarak adlandırılır. Yatay ve dikey pozisyondaki iki malzemenin birleşmesi ile oluşan köşe üzerinde elektrot 45 derece açı ile tutularak kaynak uygulaması gerçekleştirilir.
- PC – Yatay ya da korniş pozisyon olarak adlandırılır. Duvar düzleminde yerleştirilmiş iki malzeme üzerinde elektrot uygun bir açı ile tutularak kaynak uygulaması gerçekleştirilir.
- PD – Tavan-köşe kaynağı olarak isimlendirilen PD pozisyonunda ise 45 derecelik elektrot açısıyla baş üstü konumda kaynak işlemi gerçekleştirilir.
- PE – Tavan pozisyonu olarak adlandırılır. Elektrotun aşağıda kaynak parçasının ise yukarıda olduğu baş üstü pozisyonunda kaynak işlemi yapılması gerektiğini sembolize eder.
- PF – Aşağıdan yukarı kaynak pozisyonu olarak adlandırılır. Dikey düzlemde aşağıdan yukarıya ilerleyerek gerçekleştirilen kaynak uygulamasını ifade eder.
- PG – Yukarıdan aşağı kaynak pozisyonu olarak adlandırılır. Dikey düzlemde yukarıdan aşağıya ilerleyerek gerçekleştirilen kaynak uygulamasını ifade eder.
- PH ve PJ pozisyonları ise boru kaynaklarında tercih edilir. PH pozisyon sembolü aşağıdan yukarıya kaynak işlemi temsil ederken PJ pozisyonu da yukarıdan aşağıya kaynak işlemi yapılması gerektiğini gösterir.



Şekil.1 Kaynak Pozisyonları

***Peki bu pozisyonlar çalışma ergonomisini ve kaynak prosesini nasıl etkiler?***

PF ve PG pozisyonlarında kaynak faz noktasındaki ergiyen bileşimin akıntı yapmaması, iyi bir kaynak kökü oluşması, nufuziyetin istenen optimum seviyede olması ve simetrik bir görüntü oluşturabilmesi için diğer pozisyonlara nazaran daha düşük akım ve tel sürme değerinde yapılması gerekmektedir. Bu sebeple kaynak prosesi daha uzun sürecek, buna bağlı olarak ısı girdisi artacak ve bu durum malzemedeki oluşan iç gerilimi dolayısıyla kaynak sonrası malzeme çarpılmasını arttıracaktır.

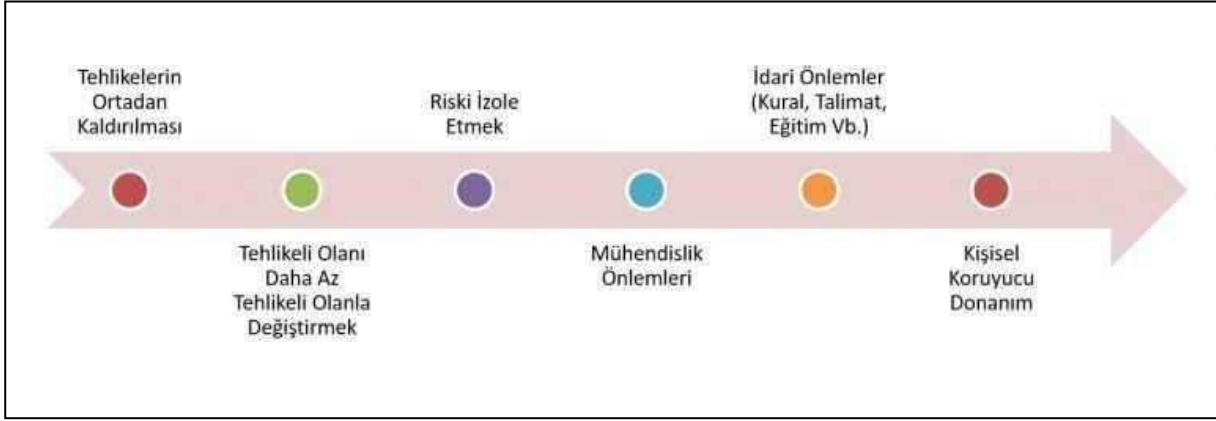
Ayrıca kaynakta krater çatlak, süreksizlik gibi hataların oluşmaması için tek seferde tamamlanmaya çalışılan kaynak dikişi malzeme yüksekliğine bağlı olarak, zaman zaman baş üstü çalışmayı gerektirecektir. Özellikle PE pozisyonu doğrudan baş üzeri operasyonlarını içermektedir.

Bu duruş şekli ergonomide biçimsiz duruş olarak anılan bir fiziksel faktör olup, kişinin doğal duruş dışındaki bir çalışma duruşudur. Biçimsiz duruşlar kas ve eklemler üzerinde stres oluşturarak fiziksel limitlerin zorlanmasına, kas kısılmalarına bağlı olarak yapılan işte bozulmalara ve doğal duruş pozisyonuna göre çok hızlı yorulmaya sebep olur.

Kaynak prosesi, kaynağı yapan teknisyenin uzun süre benzeri ve aynı pozisyonlarda kalması nedeni ile statik duruş pozisyonu olarak anılabilir. Statik duruş, işe kan akışını sınırlayarak, kas grubuna giden oksijen oranını düşürür, laktik asit oluşumuna sebep olur, buna bağlı olarak kas grubunda zedelenme ve yorgunluk oluşur. Yorgunluk ise beraberinde dikkatsizliği, iş kazalarını, güvensiz durum ve davranışları getirmektedir. Ayrıca çalışan kas grubunda oluşan yorgunluk yapılan işin kalitesini düşürmektedir. Bütün bu sebepler nedeniyle PA, PB pozisyonundaki kaynaklar daha rahat yapılmakta ve daha çok tercih edilmektedir.

PA ve PB pozisyonunda olmayan parçalar içinse mekanik sınırlar ve çalışma alanı gibi çevresel koşulların müsaade ettiği ölçüde manuel veya otomatik pozisyonlayıcıların kullanılması kaynak pozisyonunu istenilen pozisyona çevirerek operasyonu kolaylaştırmaktadır.

Risk kontrol adımları veya risk kontrol hiyerarşisi, tehlike ve riskleri kontrol altında tutup ortadan kaldırmak amacıyla kullanılan yöntemlerin sıralamasıdır. Risk değerlendirmesi yaparken alınacak önlemleri belirlemek için risk kontrol adımları düşünülmelidir. Risk kontrol adımları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil.2 Risk kontrol Adımları

Bilindiği gibi kaynak operasyonları için yapılan risk analizleri sonucunda görülen risklerin şiddet ve olasılıklarını azaltmak adına kök nedenini çözerek yok edemediğimiz risklerin yönetimi için kişisel koruyucu donanım kullanılmaktadır.

Makineleşmenin bir sonraki basamağı olan çok eksenli robotik kaynak kollarının kullanımı risklerin bir kısmını ortadan kaldırarak maruziyeti minimize edilebilir. Bunun yanı sıra daha stabil ısı girdisi, daha güzel kaynak görseli, çoklu eksen hareket kabiliyeti sayesinde ulaşımı zor alanlarda ve çevresel koşullardan etkilenme oranının daha düşük olması sebebiyle kaynak operatörünün (eldiven takılması ısıya bağlı refleksif hareketler, çevresel faktörler vb.) sebep olabileceği hatalara sebep olmamasından ötürü, daha kaliteli bir kaynak sunacaktır.

#### ***Makineleşmenin sağladığı fırsatları iş güvenliği açısından incelediğimizde hangi yeni riskleri doğurur?***

Firmamızda imalatı gerçekleştirilen parçalar üzerinde yaptığımız değerlendirmelerin sonuçları, maruziyet açısından inceleme yapıldığında aşağıdaki gibi veriler elde edilmektedir.

Nurol Makina'ya ait Ejder Yalçın isimli aracın en ağır ve en büyük parçası olan kabuk gövdesi sabit bir plate üzerinde çatım ile inşa ederek imal edilseydi, araç üzerinde bilinen bütün kaynak pozisyonlarında kaynak yapılması gerekecekti.



Şekil.2 Sabit Plate

PA, PB pozisyonları dışında yapılan kaynaklarda istenilen kaynak yüksekliklerine ulaşmak için çoklu paso uygulamaları yapılması gerekecek, buna bağlı olarak zırh plakalarına ısı girdisi artacaktır. Ayrıca proses adımı yaklaşık üç kat daha uzun sürecek, bunun üzerine soğutma için beklenilmesi gereken sürelerde eklendiğinde toplam proses adımı dört kat daha uzun sürecekti. Bu durum işçilik sürelerinin uzaması ve buna bağlı olarak maruziyetin artması, kullanılan sarf malzemelerin çoğalması ve hesaplanmasında çalışan süresinin önemli yer tuttuğu kaza sıklık ve ağırlık oranlarını da artıracaktı. Risk değerlendirme metodolojisi gözü ile bakıldığında ise frekans düşecek, olasılık ve şiddet artacaktır.



NUROL MAKİNA A.Ş. - KAYNAK OPERASYONU RİSK DEĞERLENDİRME KAYIT FORMU																				
No	Ş ADIMI TANIMLAMA			TEHLİKE TANIMLAMA				RSK DEĞERLENDİRME					RSK KONTROL PLANI			ONLEM SONRASI				
	Yapılan İş	Rutin	Rutin Dışı	Tehlike	Olası Eki	Mevcut önlemler/durumlar	Risk Altındaki	Oranlık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	Risk Önemli	Alınacak Önlemler	Sorumlular	Termin	Oranlık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	Risk Önemli
1	Plate üzerinde kaynak operasyonunun gerçekleştirilmesi	X		Kaynak süresinin artması, buna bağlı olarak maruziyet süresi, kdd kullanımı, ergonomik bozukluk kaynak hatası ve kullanılan enerji kaynaklarının artması	Meslek hastalığı, ergonomik rahatsızlıklar, ışık süresinin uzaması, verimsiz enerji kaynakları kullanımı	Maruziyet süresinin azaltılmak için sabit operasyonlar yerine pozisyonierlerin kullanılması, adam saat süresinin azaltılması, kdd kullanımı, ergonomik yardımcı ekipmanlar	Kaynak Operatörleri	3	10	15	450	Oranlık Risk	Operasyon risk hiyerarşisine göre değerlendirilmeli ve daha az riskli olan operasyonlar seçilmelidir.	Üretim	Kontrol altında tutulmalıdır.				0	Oranlık Risk

**Tablo.1** Sabit plate üzerinde kaynak operasyonu

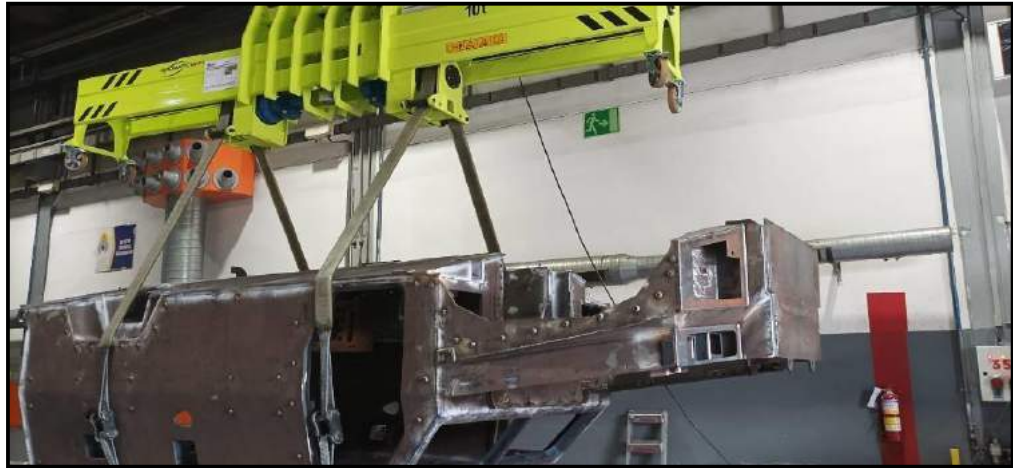
Ayrıca biçimsiz duruş ve statik çalışmanın artması nedeni ile süreksizlik, kaynakta dur-kalk sebebi ile oluşacak hataların yapıma sıklığı ve olasılığı da artacaktır. Yapılan hesaplamalara göre plate üzerinde gerçekleştirilecek operasyonlar ile 450 saat üzeri çalışma sonucunda bir aracın kabuk gövdesi tamamlanabilecektir.

Aynı operasyonun plate yerine kabuk gövdeyi çevirmek için kullanılacak olan manuel çeviricinin tek başına kullanılması durumunda gereksiz çoklu pasoların önüne geçilerek, soğuma bekleme süreleri kısaltıldığı için imalat süreleri de düşecektir.

NUROL MAKİNA A.Ş. - KAYNAK OPERASYONU RİSK DEĞERLENDİRME KAYIT FORMU																				
No	Ş ADIMI TANIMLAMA			TEHLİKE TANIMLAMA				RSK DEĞERLENDİRME					RSK KONTROL PLANI			ONLEM SONRASI				
	Yapılan İş	Rutin	Rutin Dışı	Tehlike	Olası Eki	Mevcut önlemler/durumlar	Risk Altındaki	Oranlık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	Risk Önemli	Alınacak Önlemler	Sorumlular	Termin	Oranlık	Frekans	Şiddet	Risk Değeri	Risk Önemli
1	Pozisyonier üzerinde kaynak operasyonunun gerçekleştirilmesi	X		Kaynak süresinin artması, buna bağlı olarak maruziyet süresi, kdd kullanımı, ergonomik bozukluk kaynak hatası ve kullanılan enerji kaynaklarının artması	Meslek hastalığı, ergonomik rahatsızlıklar, ışık süresinin uzaması, verimsiz enerji kaynakları kullanımı	Maruziyet süresinin azaltılmak için sabit operasyonlar yerine pozisyonierlerin kullanılması, adam saat süresinin azaltılması, kdd kullanımı, ergonomik yardımcı ekipmanlar	Kaynak Operatörleri	1	6	15	90	Oranlık Risk	Operasyon risk hiyerarşisine göre değerlendirilmeli ve daha az riskli olan operasyonlar seçilmelidir.	Üretim	Kontrol altında tutulmalıdır.				0	Oranlık Risk
2	Pozisyonier üzerinde kaynak operasyonunun gerçekleştirilmesi	X		Gövdenin pozisyonierden düşmesi	Düşen malzeme ve yerden sıçrayacak parçalar, operasyon parçasının operatör üzerine düşmesi	Operasyon alanında sınırlı işleri bulunurken, periyodik bakım, her kullanım öncesi gözetim kontrol	Kaynak Operatörleri, alanda bulunanlar	0.5	3	40	60	Oranlık Risk	Operasyonların kuşaklı çeviriciler yerine sabit kuleli pozisyonierlerde gerçekleştirilmesi	Üretim	Kontrol altında tutulmalıdır.				0	Oranlık Risk

**Tablo.2** Manuel çevirici ile kaynak operasyonu

Yapılan hesaplamalar ve eski veriler karşılaştırıldığında çatım ve imalat toplam süresi 450 saatten 105 saate kadar düşmüştür. Bu operasyon sırasında bu noktada kullanılan manuel çevirici gövdeyi vinç ile havaya kaldırarak serbest uzayda kaplamalı geniş çelik halatlar ile takla atacak şekilde çevirdiği için gövdenin düşmesi bulunmaktadır. Düşme sonucu hem araçtan kopan hem de düşmenin etkisiyle zeminden kopacak parçaların operatör ve çevredekilere zarar verebileceği gibi düşen gövde direkt operatöre ve kaynak ekipmanlarına da zarar verebilir. Bu zararlar maddi hasarlara sebep olacağı gibi ilk yardımcı, kayıp günlü ve ölümlü kazalarla da sonuçlanabilir. Operasyonun bu haliyle gerçekleştirilmesi olasılık değerini düşürürken şiddet değerini yükseltecektir ve frekans değerini düşürecektir.



**Şekil.3** Manuel Çevirici

Zemine sabitlenmiş kuleler üzerinde araç gövdesine montajlı bağlantı ile bağlanan ve motor tarafından tahrik ile aracı çevirebilen rotatör (çevirici - pozisyonlayıcı) kullanılarak aynı operasyonlar yapıldığında operasyon sürelerinin kısaltılmadığı ancak manuel çeviricinin sök-tak-kaldır-çevir sürelerinin olmaması sebebi ile gövdenin daha kısa sürede imal edildiği tespit edilmiştir. Ancak bu durumda ise yüksekte çalışma yapılan noktalar olduğu ve buna bağlı yeni risk faktörlerinin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Bu durumda olasılık ve frekans düşerken yeni şiddet unsurları devreye girmektedir.



Şekil.4 Rotatör-Pozisyonlayıcı

NUROL MAKİNA A.Ş - KAYNAK OPERASYONU RİSK DEĞERLENDİRME KAYIT FORMU																			
No	Ş ADIMI TANIMLAMA			TEHLİKE TANIMLAMA				RSK DEĞERLENDİRME				RSK KONTROL PLANI			ONLEM SONRASI				
	Yapılan İş	Rutin	Rutin Dışı	Tehlike	Olası Eki	Mevcut önlemler/durumlar	Risk Altındaki	Ölçülebilir	Sıklık	Şiddet	Risk Değeri	Risk Önceliği	Alınacak Önlemler	Sorumlular	Termin	Ölçülebilir	Sıklık	Risk Değeri	Risk Önceliği
1	Sabit kuleli pozisyonler üzerinde kaynak operasyonunun gerçekleştirilmesi	X		Kaynak stresinin artması, buna bağlı olarak maruziyet süresi, kkd kullanımı, ergonomik bozukluk kaynak hatası, ve kullanılan enerji kaynaklarının artması	Meslek hastalığı, ergonomik rahatsızlıklar, işglik süresinin uzaması, verimsiz enerji kaynakları kullanımı	Maruziyet süresinin azaltılmak için sabit operasyonlar yerine pozisyonlerin kullanılması, adam saat süresinin azaltılması, kkd kullanımı, ergonomik yardımcı ekipmanlar	Kaynak Operatörleri	1	6	15	90	Orta Risk	Operasyon risk hiyerarşisine göre değerlendirilmedi ve daha az riskli olan operasyonlar seçilmelidir.	Üretim	Kontrol altında tutulmalıdır.			0	Orta Risk
2	Sabit kuleli pozisyonler üzerinde kaynak operasyonunun gerçekleştirilmesi	X		Yüksekte çalışma	Yüksekten düşerek yaralanma	Yatay yaşam hattı	Kaynak Operatörleri	0,5	6	15	45	Orta Risk	Operatörlerin yüksekte çalışma gerçekleştirilmeden önce yatay yaşam halatlarına kendilerini bağlamaları gerekmektedir.	Üretim	Kontrol altında tutulmalıdır.			0	Orta Risk

Tablo.3 Sabit kuleli çevirici ile kaynak operasyonu

Sürece çok eksenli robotik kaynak kollarının dahil olması durumunda imalat operasyonları 15 saat, gövde tamamlama kaynakları 32 saat, toplam çalışma 47 saat sürmektedir. Operasyonun çok eksenli robot ile gerçekleştirilmesi ile olasılık, frekans ve şiddet düşecektir.



Şekil.5 Çok Eksenli Robot

NUROL MAKİNA A.Ş - KAYNAK OPERASYONU RİSK DEĞERLENDİRME KAYIT FORMU																			
No	Ş ADIMI TANIMLAMA			TEHLİKE TANIMLAMA				RSK DEĞERLENDİRME				RSK KONTROL PLANI			ONLEM SONRASI				
	Yapılan İş	Rutin	Rutin Dışı	Tehlike	Olası Eki	Mevcut önlemler/durumlar	Risk Altındaki	Ölçülebilir	Sıklık	Şiddet	Risk Değeri	Risk Önceliği	Alınacak Önlemler	Sorumlular	Termin	Ölçülebilir	Sıklık	Risk Değeri	Risk Önceliği
1	Kaynak robotu ile kaynak operasyonunun gerçekleştirilmesi	X		Maruziyet süresi, kkd kullanımı, kaynak hatası, ve kullanılan enerji kaynakları	Meslek hastalığı, kaynak operasyonunu kkd kullanmadan takip etme	Operasyon alanının sınırlandırılması, buna bağlı olarak maruziyet süresinin düşürülmesi, kkd kullanılması	Kaynak Operatörleri	0,5	3	15	22,5	Orta Risk	Mevcut durum sürekliliği sağlanmalıdır.	Üretim	Kontrol altında tutulmalıdır.			0	Orta Risk

**Tablo.4** Robot ile kaynak operasyonu

#### **4. SONUÇ ve ÖNERİLER**

Kaynak operasyonlarında teknolojik gelişmelerden faydalanmak üretim adetlerini artırmak, maliyeti düşürmek ve iş sağlığı güvenliği şartlarını iyileştirmek amacı ile gereklilik haline gelmiştir. Kaynak atölyelerinde yapılacak makineleşme adımları operasyonların daha hızlı, güvenilir ve hata payı en az üretimleri ortaya çıkaracaktır. Bunun yanı sıra operasyonların sürelerinin kısılması ile birlikte yapılan risk değerlendirmelerinde de risk şiddetlerini düşürecek buna bağlı olarak da iş kazaları ve meslek hastalıkları azalacaktır.

Yapılan risk değerlendirme çalışmalarında da görüleceği üzere operasyonlar için kullanılan makine ekipmanlar teknolojik gelişmeler ışığında geliştikçe operasyonlara bağlı risk skorları azalmaktadır. Teknolojik gelişmelerin operasyonları kolaylaştıracağı gibi yüksekte çalışma gibi yeni risk etmenlerinin ortaya çıkacağı ve bunların da ayrıca yönetilmesi gerekliliği göz ardı edilmemelidir.

#### **KAYNAKÇA**

1. <https://www.sgk.gov.tr/Istatistik/Yillik/fcd5e59b-6af9-4d90-a451-ee7500eb1cb4/>
2. 11.Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı
3. Risk Değerlendirme Tablosu Yöntemi İle Risk Analizi: Bir Uygulama, Hüseyin Ceylan ve Volkan S. Başhelvacı

# KAYNAK İŞÇİSİNİN AKCİĞERİNİ KORUMAK

Özet: Kaynak alanında çalışan için çok sayıda sağlık ve güvenlik riski bulunmaktadır. Eğer gerekli önlemler alınmazsa kaynak çalışanını bekleyen sağlık risklerinden birisi de Akciğer Kanseridir. Uluslararası Kansere Araştırmaları Ajansı (IARC) sınıflamasına göre Kaynak dumanı insanda kanser yapıcı etkisi kesin olarak bilinen maddelerin yar aldığı 1. Grupta yer almaktadır. İnternette 'Kaynak dumanı ve Akciğer kanseri' yazıldığında bu ilişkinin varlığı çok sayıda araştırmanın sonuçlarında görülmektedir. Bu çalışmada, kaynak ortamında duman maruziyetini ölçmeye, izlemeye, buna dayanarak önlem almaya yönelik bir Ortam Gözetim Programı önerilmektedir. Bu maruziyet önlenemediği sürece mesleki olduğu kayıtlara girmemiş çok sayıda Akciğer kanseri hastamız olduğunu unutmamalıyız.

Anahtar Kelimeler: Kaynak işçisi, Kaynak dumanı, Akciğer kanseri

## PROTECTING THE WELDER'S LUNG

Abstract: There are many health and safety risks for those working in the welding field. If necessary precautions are not taken, one of the health risks that awaits welding workers is Lung Cancer. According to the International Agency for Research on Cancer (IARC) classification, welding fume is in Group 1, which includes substances with known carcinogenic effects on humans. When 'Welding fume and Lung cancer' is typed on the internet, the existence of this relationship is seen in the results of many studies. In this study, an Environmental Surveillance Program is proposed to measure and monitor smoke exposure in the welding environment and take precautions accordingly. As long as this exposure cannot be prevented, we should not forget that we have many lung cancer patients who are not registered as occupational.

Keywords: Welder, Welding fumes, Lung cancer

## Öldükten Sonra Meslek Hastalığı Tanısı

Yargıtay'dan 'meslek hastalığı' kararı: Emekli olduktan 19 yıl sonra kansere yakalanıp öldü!  
Geçen senenin başlarında gazetelerde yer alan bir habere göre, kansere yakalanan emekli işçinin meslek hastalığından öldüğü kabul edilmişti. Zafer Genç, 1974 yılında Kasımpaşa'daki Camialtı Tersanesi'nde 1. sınıf elektrik kaynakçısı olarak çalışmaya başladı. 1990 yılında emekli oldu, emekliliğinden 19 yıl sonra, 2009 yılında akciğer zarı kanseri hastalığına yakalandı, 23 Mart 2012 tarihinde meslek hastalığı nedeniyle iş yapamadığını gerekçe göstererek, Sosyal Güvenlik Müdürlüğü'ne (SGM) başvurdu, SGM, Genç'in iş göremezlik aylığının bağlanması talebini reddetti. Genç, 30 Mayıs 2012 tarihinde yakalandığı kanser hastalığına yenilerek hayatını kaybetti. Ailenin başvurusu üzerine Yüksek Sağlık Kurulu, 16 Nisan 2014'te Zafer Genç'in yapmış olduğu meslek ile yakalandığı hastalık arasında ilişki bulunmadığına karar verdi. Bu karar üzerine 2016 yılında SGK ve Türkiye Denizcilik İşletmeleri aleyhine dava açılarak, Zafer Genç'in yaptığı iş nedeniyle uzun yıllar asbeste maruz kaldığını, asbestin etkisinin 20 yıla kadar sürdüğünü belirterek, meslek hastalığı nedeni ile ölüp ölmediğinin ve bu hastalığın sebep olduğu maluliyet oranının tespiti istendi. Mahkemeye gelen 7 Haziran 2017 ve 26 Nisan 2018 tarihli iki Adli Tıp Kurumu raporunda, 'Zafer Genç'in mezotelyoma hastalığından ölümünün ve yakalandığı bu hastalığın meslek hastalığı olduğunun kabulünün gerektiği' belirtildi. Davalılar SGK ve Türkiye Denizcilik İşletmeleri davanın reddini istediler. Mahkeme, Adli Tıp Kurumu'ndan gelen raporlara dayanarak Zafer Genç'in mesleğinden dolayı mezotelyoma hastalığına yakalandığını ve ölümünün de bu hastalıktan kaynaklandığına karar verdi. Davalılar, SGK ve Türkiye Denizcilik İşletmeleri, yerel mahkemenin kararını istinaf mahkemesine taşıdı. Yerel mahkemenin kararını 2021 yılında inceleyen Bölge Adliye Mahkemesi, davalı kurumların istinaf talebini reddederek kararı onadı. Davalılar bu kez de İstinaf'ın kararına karşı temyiz başvurusunda bulundu. 2021 yılının Aralık ayında kararı inceleyen Yargıtay 10. Hukuk Dairesi, 'kararın yasal ve hukuksal gerekçeleriyle dayandığı maddi delillere ve özellikle delillerin takdirinde bir isabetsizlik görülmediğine' kanaat getirdi. Temyiz itirazlarını reddeden Daire, 'usul ve hukuka uygun olarak gördüğü hükmün onanmasına' karar verdi. Kesinleşme şerhinin yazılmasının ardından ailenin avukatı, davalı şirketlere maddi ve manevi olmak üzere toplamda 250 bin liralık tazminat davası açtı ve 'Dosyamız emsal teşkil etmiştir, insanlar

için de umut olmuştur. Şimdi tazminat davasını açtık. Dileyelim tüm insanlar için bu umut olsun. Keşke hepimiz için daha kısa soluklu bir süreç olsaydı.’ dedi.(1)

### **Kaynak Çalışanını Bekleyen Sağlık Riski; Akciğer Kanseri**

Meslek hastalığı tanı konma sürecinin memleketimizde ne kadar büyük bir sorun olduğunu hepimiz biliyoruz. Yukarıda anlatılan hikaye bunun acı örneklerinden birisi. Ama bu hikaye bize bir şey daha anlatıyor. Eğer gerekli önlemler alınmazsa kaynak çalışanını bekleyen sağlık risklerinden birisi de Akciğer Kanseridir.

Birleşmiş Milletler bünyesinde çalışma yapan Dünya Sağlık Örgütü’ne (WHO) bağlı bir kuruluş olan Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) sınıflamasına göre Kaynak dumanı 2018’den beri insanda kanser yapıcı etkisi kesin olarak bilinen maddelerin olduğu 1. Grupta yer almaktadır. (2) Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansının belirli aralıklarla güncelleyerek yayınladığı listesinin, kansere yol açtığı kesin olan 1. Grubunda bulunan 121 ajanın 47’si mesleki maruziyet etkeni olan ajanlardır. Bunlar arasında Kaynak dumanınaek olarak kaynak işlemlerinde kullanılan Berilyum ve bileşikleri, Kadmiyum ve bileşikleri, Nikel ve bileşikleri ve Krom VI bileşiği de sayılmaktadır. (3)

İngiltere’deki bir araştırmaya göre tüm kanserlerin % 4,9u mesleki maruziyet sonucu olduğu ve erkeklerde nedenlere göre sıklık sıralamasında 3. en sık nedenin mesleki maruziyet olduğu bildiriliyor. Mesane kanserlerinin % 7,1’i, Mezotelyomaların % 97’si, Sinonazal kanserlerin % 43’ü, Akciğer kanserlerinin % 21’imesleki nedeni olduğu tabloda anlatılıyor. Her 5 akciğer kanserinden birisi Mesleki maruziyet sonucu oluşmuştur. (4)

### **Kaynak Dumanı Maruziyet Değerlendirmesi**

İnternette ‘Kaynak dumanı ve Akciğer kanseri’ yazıldığında çıkan çok sayıda araştırmanın sonuçları böyle birlişkinin var olduğunu söylüyor. (5), (6), (7), (8), (9), (10),

Kaynak yapılan çalışma ortamında işçiyi bekleyen çok sayıda tehlike vardır. Çalışılan yerin özellikleri, nasıl çalışıldığı, işin yapılış şekli, süresi ve hangi malzemelerin kullanıldığına bağlı olarak muhtemel iş kazaları vesağlık riskleri ortaya çıkabilir. Yazımız, öncelikli olarak kaynak ortamında bulunan gaz, toz, duman, ve buhargibi zararlı maddelere maruziyet sonucu solunum sistemindeki etkilenmeleri önlemek için nasıl bir ortam gözetimi yapılması gerektiğini ve mesleki kanserlerin de tüm diğer meslek hastalıkları gibi tamamının önlenabilir hastalıklar olduğunu anlatıyor.

Kaynak işçilerinde solunum yolu ile oluşacak etkilenmelerden akciğerin korunmasına yönelik çalışmalarda KAYNAK DUMANI çok önemlidir. Kaynak dumanı, işlem sırasında oluşan erimiş metalden geliyor. Dumanın bileşenleri işleme/yönteme göre değişiyor ancak genel olarak küçük partiküllerin, kimyasalların ve gazların bir karışımıdır. Kaynak işinde ortaya çıkan kaynak arki ile metaller yüksek sıcaklıkta buharlaşır, metal buharları ortam havası ile oksitlenir, havadaki kirleticilerle birleşir ve yoğunlaşarak metal oksit dumanına dönüşür. Metaloksitleri kaynak dumanının en önemli bileşenidir. Kaynak dumanı içinde yer alan katı parçacıklar, elektrot, lehim, kaynak ve kesme işlemi yapılan ana malzeme ile ana malzeme üzerindeki boya, galvaniz gibi kaplamalardan çıkan parçacıklardan oluşmaktadır. Metal oksit dumanı çapı 1 mikrondan küçük olan taneciklerden oluşmaktadır. Bu tanecikler, uzun sürelerle havada asılı kalabilir ve hava hareketleri ile çeşitli yönlerde taşınabilir. (11)

Kaynak dumanına maruziyetin sağlık etkilerini belirlemek, dumandaki zararlı olduğu bilinen çok fazla kimyasalnedeniyle zordur. Kaynak dumanına yönelik rutin kullanımda kabul edilmiş bir ortam gözetimi ve biyolojik monitörizasyon programı/testi henüz tanımlanmadığı yaygın bir görüştür. Böylelikle kaynak dumanına karşı havalandırma ve kişisel koruyucu ekipman (KKE) önlemlerine öncelik verilmekte daha doğrusu bütün ağırlık bu önlemlerde olmaktadır. Bu çalışmada, kaynak ortamında duman ölçmeye, izlemeye, buna dayanarak maruziyeti önlemeye yönelik bir Ortam Gözetim Programı önerilmektedir.

Kaynak Dumanının Maruziyet Değerlendirmesi (12)

Kullanılan malzemenin içindeki anahtar bileşenler, sağlık tehlikesinde büyük etkiye sahip maddelerdir. Kaynak dumanının ölçümü ve değerlendirilmesi ile kaynak alanında sağlık riski yüksek olan maddelerin karışımı olan anahtar bileşenlerin belirlenerek çalışma ortamının gözetimini, işçi sağlığı için koruyucu

önlemlerin belirlenmesini sağlar. Kaynak dumanının izin verilebilir üst limiti 3mg/m<sup>3</sup> tür. Ortamda hem kaynak dumanının hem de işleme/materyale özel anahtar bileşenlerin konsantrasyonu belirlenmelidir. Kaynakta duman üretiminin göz ardı edilebilir olduğu gaz kaynağı, alev ısıtma, alev düzleştirme, alev yakma işlemleri hariç bütün işlemlerde kaynak dumanı ölçülmelidir.

Kaynak dumanındaki anahtar bileşenin belirlenmesi, örnek 1-Manuel metal ark kaynağı.

Sol sütun işlediğimiz malzemenin kaynak dumanı bileşenlerinin ölçülmüş oranları(%) ve sağ sütun bileşenlerin MAK(izin verilen azami konsantrasyon) değerleri(mg/m<sup>3</sup>).

Cr(IV) 4:0%	0
F 10%	2,5
Fe 49%	3
Mn 3%	0,5
Ni 0,32%	0

Kaynak dumanının yoğunluğuna ilişkin formül:

$$\text{yoğunluğu(mg/m}^3\text{)} \times 100 \text{ Kaynak duman yoğunluğu(mg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Her bileşenin ortamdaki}}{\text{Kaynak dumanındaki bileşenin yüzdesi}}$$

Kaynak dumanındaki bileşenin yüzdesi

Bu çalışmada kaynak duman yoğunluğu MAK değeri olan 3mg/m<sup>3</sup> olarak kabul edilmiştir. Buna göre işlemsirasında oluşan kaynak dumanının bileşenleri % olarak ölçülerek oranlar bulunmuştur. Bu değerlere göre bileşenlerin yapılan hesaplamalar sonucu hesaplanan yoğunlukları aşağıdadır.

$$\text{Cr(VI)}=0,12\text{mg/m}^3, \text{F}=0,3\text{mg/m}^3, \text{Fe}=1,47\text{mg/m}^3, \text{Mn}=0,09\text{mg/m}^3, \text{Ni}=0,0096\text{mg/m}^3$$

Sonuçlar, F, Mn ve Fe'in yoğunluklarının MAK değerlerinden çok daha düşük olduğunu göstermektedir. Diğer yandan Cr(VI) ve Ni MAK değerlerinin olmaması ile kritik olan maddelerdir. Cr(VI)'nin hesaplanan yoğunluğu, Ni'in yoğunluğundan daha yüksektir. Böylece bu kaynak dumanının sağlık açısından izlenmesinde Cr(VI) anahtar bileşen olarak seçilmelidir.

Kaynak dumanındaki anahtar bileşenin belirlenmesi, örnek 2-Metal aktif gaz kaynağı.

Sol sütun işlediğimiz malzemenin kaynak dumanı bileşenlerinin ölçülmüş oranları(%) ve sağ sütun bileşenlerin MAK(izin verilen azami konsantrasyon) değerleri(mg/m<sup>3</sup>).

F 20,5%	2,5
Fe 24,5%	3
Mn 8,0%	0,5
Cu 0,17%	0
Ni 0,2%	0

Kaynak dumanının yoğunluğuna ilişkin formül:

$$\text{yoğunluğu(mg/m}^3\text{)} \times 100 \text{ Kaynak duman yoğunluğu(mg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Her bileşenin ortamdaki}}{\text{Kaynak dumanındaki bileşenin yüzdesi}}$$

Kaynak dumanındaki bileşenin yüzdesi

Bu çalışmada, bileşenlerin ortamda ayrı ayrı MAK değerlerine ulaşılması halinde, toplam kaynak dumanıyoğunluğunun hesaplanmıştır. Buna göre;

F'ün MAK değeri olması halinde toplam duman yoğunluğu 12,2mg/m<sup>3</sup>, Fe'in MAK değeri olması halinde toplam duman yoğunluğu 12,25mg/m<sup>3</sup>, Mn'in MAK değeri olması halinde toplam duman yoğunluğu 6,25mg/m<sup>3</sup> tir.

Hesaplanan en düşük yoğunluk Mn için 6,25mg/m<sup>3</sup> olduğuna göre bu örnekteki Anahtar bileşen Mn'dir. Eğer kaynak dumanı yoğunluğu olarak 6,25mg/m<sup>3</sup>'e ulaşılmazsa, kaynak dumanındaki tüm bileşenler ilgili sınır değerlerinin altında demektir. Kaynak dumanı için 3mg/m<sup>3</sup> MAK değeri olması dolayısıyla bu değere göre dumandaki bileşenlerin yoğunlukları hesaplandığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılır.

$$\text{Fe}=0,735\text{mg/m}^3, \text{F}=0,615\text{mg/m}^3, \text{Mn}=0,24\text{mg/m}^3, \text{Cu}=0,005, \text{Ni}=0,006\text{mg/m}^3$$

Bu sonuçlara göre, F, Fe ve Mn yoğunlukları MAK değerlerinin çok altındadır. Cu ve Ni'de çok düşük değerlerdedir. Böylece Mn izleme için anahtar bileşen olarak seçilmelidir.



Bu çalışma ile açığa çıkan kaynak dumanının sınır değerleri aşmaması ve malzemenin bileşenlerinin oranları hesaplanarak saptanan ‘Anahtar bileşen’in izlenmesi ile maruziyetin kontrol edilmesi ve koruyucu önlemlerin belirlenmesi hedeflenmektedir. Ağır metal maruziyetinin önlenmesi için bu çalışma, biyolojik moniterizasyon ile birlikte sürdürülmelidir. Limit değerleri olmayan anahtar bileşenler için ölçüm sonuçları mesleki, tıbbi ve toksikolojik temelde değerlendirilmelidir.

Sağlık riskinin büyüklüğü materyale özel faktörlere olduğu gibi emisyon oranının yüksekliğine de bağlıdır. Eğer kullanılan malzemenin izin verilen sınır değerleri aşılmaz ve kanserojen maddelere ilişkin değerler de sınır değerlerin açıkça altındaysa bu durumda “sağlık riski çok azdır” sonucu çıkarılabilir. Bu çalışmaların öncesinde, düşük emisyonlu işlemlerin, düşük emisyonlu materyallerin tercih edilmesi gibitedbirlerin yanı sıra havalandırma için teknik anlamda mümkün olan en iyi çözümler bulunmalı ve uygulanmalıdır.

‘Kanserojen veya mutajen maddelerle çalışmalarda sağlık ve güvenlik önlemleri hakkında yönetmelik’ (13) kaynak işlemlerinde bilmemiz ve uygulamamız gereken bir yönetmeliktir. Burada esasen Birincil Koruma anlatılmaktadır. Risk Değerlendirmesinde, tehlikenin ortadan kaldırılmasını, bunun mümkün olmadığı durumlarda daha az tehlikelilerin kullanılmasını, maruziyeti azaltmanın yolları anlatılıyor.

İkincil Koruma olarak tarama ile erken tanı konması tarif edilmektedir. Bu faaliyetin pratikte karşılığı yoktur. Çünkü ülkemizde Kanser tarama programları içinde Akciğer kanseri yoktur. Mesleki Akciğer kanseri tarama programı da yoktur. Belli ülkelerde bazı programlar var olmakla birlikte bizim ülkemizde bunlara benzer herhangi bir uygulama bulunmamaktadır. Dolayısıyla Yönetmelik’teki Sağlık Gözetim Programına ilişkin tarama/erken tanı faaliyetlerini yapmaya çalışırken esas olanın maruziyeti önlemek olduğunu hiç unutmamamız gerekmektedir.

#### Referanslar:

- (1) <https://www.evrensel.net/haber/455927/kansere-yakalanan-emekli-iscinin-meslek-hastaligidan-oldugu-kabul-edildi>
- (2) <https://monographs.iarc.who.int/agents-classified-by-the-iarc/>
- (3) Identifying occupational carcinogens: an update from the IARC Monographs, Dana Loomis, Neela Guha, Amy L Hall, Kurt Straif
- (4) [https://www.researchgate.net/publication/227706417\\_Occupational\\_cancer\\_burden\\_in\\_Great\\_Britain](https://www.researchgate.net/publication/227706417_Occupational_cancer_burden_in_Great_Britain)
- (5) [https://www.researchgate.net/publication/362911324\\_Risk\\_for\\_lung-related\\_diseases\\_associated\\_with\\_welding\\_fumes\\_in\\_an\\_occupational\\_population\\_Evidence\\_from\\_a\\_Cox\\_model](https://www.researchgate.net/publication/362911324_Risk_for_lung-related_diseases_associated_with_welding_fumes_in_an_occupational_population_Evidence_from_a_Cox_model)
- (6) <https://oem.bmj.com/content/76/6/422>
- (7) <https://academic.oup.com/aje/article/188/11/1984/5561427?login=true>
- (8) <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16539169/>
- (9) <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8892542/>
- (10) <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7795747/>
- (11) <https://blog.binzel-abicor.com/usa/what-is-welding-fume>
- (12) Metal sektörü işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği rehberi-İş teftiş sisteminin geliştirilmesi projesi/Ek-1, Sf114-117
- (13) <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/08/20130806-4.htm>

Dr. Arif Müezzinoğlu  
İşyeri Hekimi  
Ankara Tabip Odası  
İşçi Sağlığı ve İşyeri Hekimliği  
Komisyon Üyesi  
533 6470247  
arifmuezzinoglu@gmail.com

# KAYNAK SIRASINDA OLUŞAN GAZ, DUMAN VE TOZLARIN İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ VE ÖNERİLEN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ TEDBİRLERİ

*Hakan ERDOĞAN<sup>1</sup>, Melis ÖZMEN<sup>2</sup>, Mehmet ÖZKAN<sup>3</sup>, Abide ŞENTÜRK<sup>4</sup>*

1 Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Metal Birimi, Ankara, Türkiye, [hakan.erdogan1@csgb.gov.tr](mailto:hakan.erdogan1@csgb.gov.tr)

2 Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Metal Birimi, Ankara, Türkiye, [mozmen@csgb.gov.tr](mailto:mozmen@csgb.gov.tr)

3 Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Metal Birimi, Ankara, Türkiye, [mehmet.ozkan2@csgb.gov.tr](mailto:mehmet.ozkan2@csgb.gov.tr)

4 Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Metal Birimi, Ankara, Türkiye, [abide.senturk@csgb.gov.tr](mailto:abide.senturk@csgb.gov.tr)

## ÖZET

Kaynak işlerinde hem kaynakçıyı hem de aynı ortamda bulunan diğer çalışanları işin getirdiği tehlikelerden korumak esastır. Gaz, duman ve tozlar bu tehlikelerin en önde gelenleridir. Kaynak dumanları, metal oksitler, silikatlar ve florürlerden oluşan karmaşık bir karışımdır. Kaynak gazları, kaynak ve kesme işlemleri sırasında kullanılan gazlardır. Bunlar, koruyucu gazlar gibi doğrudan kullanılabilen gibi, dekapanların ayrışması, havadaki gaz veya buharların ultraviyole ışık veya yüksek sıcaklıklarla etkileşimi sonucu da oluşabilir. Kaynak esnasında koruyucu tozlar veya kaynak yapılan malzemeden yayılan tozlar da çalışanları etkileyebilmektedir. Bu hava kirleticiler solunum yolu hastalıklarına ve bazen toksik etkilere yol açmaktadır. Bu araştırmada, hava kirleticilerin çalışanların sağlığına etkileri tanımlanarak önleyici iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: kaynak, hava kirletici, iş sağlığı ve güvenliği

## EFFECTS OF GASES, FUMES AND DUST GENERATED DURING WELDING ON HUMAN HEALTH AND RECOMMENDED OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY PRECAUTIONS

### ABSTRACT

In welding works, it is essential to protect both the welder and other workers in the same environment from the hazards of the work. Gases, fumes and dusts are the most prominent of these hazards. Welding fumes are a complex mixture of metal oxides, silicates and fluorides. Welding gases are gases used during welding and cutting operations. They can be used directly as shielding gases or can be formed by decomposition of decapsulants, interaction of gases or vapours in the air with ultraviolet light or high temperatures. During welding, protective dusts or dusts emitted from the welded material can also affect workers. These air pollutants cause respiratory diseases and sometimes toxic effects. In this study, the effects of air pollutants on the health of workers were identified and preventive occupational health and safety measures were proposed.

Keywords: welding, air pollutant, occupational health and safety

## GİRİŞ

Kaynak, yaygın olarak uygulanan ve birçok endüstri için kilit öneme sahip bir metal birleştirme işlemidir. Aynı zamanda, işlem sırasında oluşan birçok tehlike nedeniyle sağlık açısından riskli bir meslektir. Kaynak işlemi sırasında, çevre ve insan sağlığı için zararlı olan gazlar, metal buharları, dumanlar ve partiküller ortaya çıkar [1]. Kaynak malzemelerinden, ana metalden ve ana metal üzerinde bulunan kaplamalardan kaynaklanan dumanların %80-95'i kullanım malzemesinden kaynaklanmaktadır [2]. Kaynak dumanları, kaynak sırasında oluşan metal oksit parçacıkları ve gazlardan meydana gelir ve kolayca solunabilir. Parçacıkların kimyasal bileşimi ve kaynak sırasında üretilen duman miktarı, kaynak prosedürlerine, koruyucu gazların kimyasal bileşimine, dolgu malzemesi ve ana malzemeye, kaplamaların varlığına ve maruz kalma süresi ile şiddetine bağlıdır. Kaynak sırasında oluşan alüminyum, berilyum, kadmiyum, krom (vi), bakır, florürler, demir oksitler, kurşun, manganez, molibdenyum, nikel ve vanadyum dumanlarının etkileri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kaynak Dumanlarının Sağlık Üzerindeki Etkileri

Kaynak dumanı	Kaynak	Sağlık Etkileri
Alüminyum	Isıyla sertleştirilemeyen krom-demir alaşımı, bakır, çinko, çelik, magnezyum, pirinç ve dolgu malzemeleri gibi bazı alaşımların bileşiminde bulunmaktadır.	Solunum sistemini tahriş edicidir. Tam olarak kanıtlanırsa da aşırı alüminyum maruziyetinin Alzheimer'e neden olduğu söylenmektedir. Akciğer fibrozisi, alveolar proteinosis ve astım benzeri semptomlar görülebilir. Tozlarıyla direkt temas, alerjik kontakt dermatite neden olabilir.
Berilyum	Bakır, magnezyum, alüminyum alaşımlarında ve elektrik kontaklarında bulunan sertleştirici maddedir.	Metal dumanı ateşi <sup>1</sup> görülür. Bir kanserojendir. Diğer kronik etkileri arasında solunum yollarında hasar yer alır.
Kadmiyum	Kadmiyum içeren paslanmaz çelik veya kaplamalı malzemeler ile çinko alaşımlarında bulunur.	Solunum sisteminde tahriş, boğaz ağrısı ve kuruluğu, göğüs ağrısı ve solunum güçlüğüne neden olmaktadır. Kronik etkileri böbrek hasarı ve amfizemi içerir. Kanserijen olduğundan şüphelenilmektedir.
Krom VI	Çoğu paslanmaz çelik ve yüksek alaşımlı malzemelerde ve kaynak çubuklarında yer alır. Kaplama malzemesi olarak da kullanılır. Kaynak sırasında altı değerlikli kroma dönüşür.	Akciğer kanseri riskini artıran bir kimyasal etkidir. Bronşit, rinit ve astım gibi solunum yolu rahatsızlıklarına neden olur. Deri ülserleri, dermatit ve cilt alerjilerine neden olabilir. Doğrudan maruz kalan gözlerde tahriş ve yaralanmalar oluşabilir. Bazı araştırmalar, kan hücrelerine zarar verebileceğini ve anemiye yol açabileceğini göstermiştir.
Bakır	Monel, pirinç, bronz gibi alaşımlar ile bazı kaynak çubuklarında yer alır.	Akut etkiler arasında gözler, burun ve boğazda tahriş, mide bulantısı ve metal dumanı ateşi yer alır.
Florürler	Hem düşük hem de yüksek alaşımlı çelikler için ortak elektrot kaplaması ve akı malzemesidir.	Akut etkisi göz, burun ve boğazda tahriştir. Uzun süreli maruziyetler kemik ve eklem sorunlarına yol açabilir. Kronik etkiler arasında akciğerlerde aşırı sıvı oluşumu da yer alır.
Demir Oksitler	Tüm demir veya çelik kaynak işlemlerinde ana kirleticidir.	Siderozise neden olmaktadır. Akut semptomlar arasında burun ve akciğerlerde tahriş yer alır. Maruziyet sona erdiğinde düzelme eğilimi gösterir.
Kurşun	Lehim, pirinç ve bronz alaşımlarında, çelikler üzerinde astarda / kaplamada bulunur.	Sinir sistemi, böbrekler, sindirim sistemi ve zihinsel kapasiteyi kronik olarak etkiler. Kurşun zehirlenmesine neden olabilir.
Manganez	Çoğu kaynak işleminde görülür, özellikle yüksek gerilimli çeliklerde vardır.	Metal dumanı ateşi görülür. Kronik etkiler merkezi sinir sistemi sorunlarını içerebilir.
Molibdenyum	Çelik alaşımları, demir, paslanmaz çelik, nikel alaşımlarında yer alır.	Akut etkileri göz, burun ve boğaz tahrişi ve nefes darlığıdır.
Nikel	Paslanmaz çelik, inconel, monel, hastelloy ve diğer yüksek alaşımlı malzemelerde, kaynak çubukları ve kaplamalı çeliklerde bulunur.	Akut etkisi göz, burun ve boğazda tahriştir. Kaynakçılık dışındaki mesleklerde kanser riskinde artış kaydedilmiştir. Dermatit ve akciğer problemleri ile de ilişkilidir.
Vanadyum	Bazı çelik alaşımları, demir, paslanmaz çelik, nikel alaşımlarında kullanılır.	Akut etkisi gözlerde, ciltte ve solunum yollarında tahriştir. Kronik etkiler arasında bronşit, retinit, akciğerlerde sıvı ve zatürre yer alır.

<sup>1</sup> Metal dumanı ateşi, metal işleme işlerinde sıkça karşılaşılan bir sağlık problemidir. Metal işleme süreçlerinde, özellikle kaynak, kesme, taşlama gibi işler sırasında, metallerin yüksek sıcaklığa maruz kalarak buharlaşması ve ardından soğuyarak hava ile karışması sonucu oluşan metal dumanları solunduğunda ortaya çıkar. Bu dumanlar, solunum sistemine zarar verebilir ve ciddi sağlık problemlerine yol açabilir.

Karbon monoksit, hidrojen florür, azot oksitler, oksijen yetersizliği ve ozon gazlarının sağlık üzerine etkileri de Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.Kaynak Gazlarının Sağlık Üzerindeki Etkileri

Gaz Türü	Kaynak	Sağlığa Etkisi
Karbon Monoksit	Arkta oluşur.	Kan dolaşımına kolayca karışarak baş ağrısı, baş dönmesi veya kas güçsüzlüğüne neden olur. Yüksek konsantrasyonlar bilinç kaybı ve ölümlle sonuçlanabilir.
Hidrojen Florür	Çubuk kaplamaların ayrışmasında çıkar.	Gözleri ve solunum yollarını tahriş eder. Aşırı maruziyet akciğer, böbrek, kemik ve karaciğer hasarına neden olabilir. Kronik maruziyet burun, boğaz ve bronşlarda tahrişe neden olabilir.
Azot oksitler	Arkta oluşur.	Düşük konsantrasyonlarda göz, burun ve boğaz tahrişine neden olur. Daha yüksek konsantrasyonlarda akciğerde anormal sıvı birikimi ve diğer ciddi etkiler yapar. Kronik etkiler amfizem gibi akciğer problemlerini içerir.
Oksijen yetersizliği	Kapalı alanlarda, kaynak gazları ve koruyucu gazlar ile havanın yer değiştirmesi sonucu oluşur.	Baş dönmesi, zihinsel karışıklık, boğulma ve ölüm görülebilir.
Ozon	Özellikle plazma-ark, MIG ve TIG işlemleri sırasında kaynak arkında oluşur.	Akut etkiler arasında akciğerlerde sıvı birikmesi ve kanama yer alır. Çok düşük konsantrasyonlar baş ağrısı ve göz kuruluğuna neden olur. Kronik etkiler akciğer fonksiyonlarında önemli değişiklikleri içerir.

Aldehitler (formaldehit gibi), Diizosiyanatlar, Fosgen ve Fosfin gibi oluşan organik buharların sağlığa etkileri Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3. Kaynak Sonucu Oluşan Organik Buharların Kaynağı ve Sağlığa Etkileri

Gaz Türü	Kaynak	Sağlığa Etkisi
Aldehitler (formaldehit gibi)	Bağlayıcılar ve pigmentler ile metal kaplamada bulunur. Yağ çözücü solventlerde de olabilir.	Gözleri ve solunum yollarını tahriş eder.
Diizosiyanatlar	Poliüretan boyalı metalde kullanılır.	Göz, burun ve boğazı tahriş eder. Çok düşük maruziyetlerde bile astım veya diğer alerjik semptomlara neden olan yüksek hassasiyet olasılığı bulunur.
Fosgen	Yağ çözücü kalıntısı olan metallere çıkar. Çözücü ve kaynak radyasyonunun reaksiyonu ile oluşur.	Göz ve solunum yolu tahrişi, nefes darlığı, göğüs ağrısı ve ölümcül solunum yetmezliği gibi semptomlar gözlemlenebilir.
Fosfin	Pas önleyicinin kaynak radyasyonu ile reaksiyona girmesi sonucu oluşur.	Gözleri ve solunum sistemini tahriş eder, böbreklere ve diğer organlara zarar verebilir.

Kaynak gaz, duman, buhar ve tozlarının oluşturduğu tehlikeler şu faktörlere bağlıdır:

- Kullanılan kaynak tekniği
- Kaynak çubuğu (elektrot) olarak seçilen materyal
- Kullanılan dolgu metalleri (hem yumuşak çelik hem de paslanmaz çelik için)
  - \* Paslanmaz çelik içerisinde bulunan nikel ve krom
  - \* Karbon çeliğinin diğer metallere kıyasla daha yüksek miktarda manganez içermesi
  - \* Alüminyum ve onun alaşımları

- Kaynak esnasında işlenen metallerin yüzey kaplamaları ve boyaları
  - \* Galvanize edilmiş metaller veya boyalar içinde yer alan çinko bazlı boyalarda rastlanan kurşun
- Çeşitli boyalar ve dolgu maddelerinde bulunan kadmiyum
- Havalandırma sistemi
- Kapalı alan çalışmaları

Kaynak esnasında meydana gelen metal dumanları kullanılan kaynak çubuğunun (elektrodun) materyaline bağlıdır. Daha az gaz üreten elektrotların tercih edilmesi önemlidir, zira bu buharın yaklaşık %90'ı elektroddan gelmektedir [5]. Kaynakçılıkta bazı metal yüzey kaplama maddesi ve kirlilikleri Tablo 4'te verilmiştir [6].

Tablo 4. Kaynakçılıkta Bazı Metal Yüzey Kaplama Maddesi ve Kirlilikleri

Metal yüzey kaplama	Kirlilikleri
Alaşımalar	Nikel, Kadmiyum, Mangan, Berilyum
Pas giderme	Fosfor, Fosfin
Klorlu solventler	Fosgen
Biyosidler	Organik Kalay, Organik Cıva
Boyalar	Epoksiler, Aldehitler, İzosiyanatlar, Kadmiyum, Kurşun
Galvanize metaller	Çinko Oksit

Kaynak yapım atölyelerinde havaya karışan tozlar, çoğunlukla kaynak yeri hazırlığı, metal malzemelerin nakli, kesilmesi ve kaynak yerinin zımparalanması gibi işlemlerden kaynaklanmaktadır. Bu tozlar, çoğunlukla yere çöküp, iş yerinin zeminine, kaynak ekipmanlarına ve çeşitli diğer alanlara birikir [7].

Kaynak sırasında ortaya çıkan toksik tozlar, vücuda alındığında sinir sistemi, karaciğer, böbrek, mide, bağırsak, solunum ve kan yapıcı organlara zarar verebilir.. Kurşun, krom, kadmiyum, mangan, vanadyum, berilyum ve nikel bileşiklerinden oluşan tozlar, kanserojenik özellik gösteren toksik tozlardır ve sağlık sorunlarına yol açabilirler. Kaynak işleri sonucunda oluşan tozlara maruziyeti; havadaki tozun miktarı, partikül sayısı, partikül çapı dağılımı, partiküllerin kimyasal bileşimleri, partiküllerin şekli, yoğunluğu ve aerodinamik özellikleri etkilemektedir [8].

Kaynak, Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) tarafından Grup 1 kanserojen olarak sınıflandırılmıştır, yani insanlar için kanserojendir. Ayrıca akut ve kronik solunum yolu iltihabı, kardiyovasküler hastalık ve nörotoksositeye neden olabilir [9-13]. Meo, S. A. ve ark. yaptıkları çalışmalarında, kaynak çalışanlarına uzun yıllar solunum fonksiyon testleri uygulandığını ifade etmişlerdir. Bu çalışmada; kaynak dumanını kontrol için havalandırma sistemi bulunmayan bir ortamda solunum koruyucu takmayan ve tütün kullanmayan metal ark kaynakçıların incelenmiş ve 9 yıldan daha uzun süre kaynak dumanına maruz kalan kaynak çalışanlarında spirometrede önemli bir azalma olduğu ortaya konmuştur [14]. Christensen, S. W. ve ark. yaptığı bir başka çalışmada, 17 yıl süresince çelik kaynakçıları ve kaynak yapmayan üretim işçilerinin akciğer fonksiyonu spirometri ile ölçülmüştür. Çalışma sonucuna göre uzun süreli kaynak emisyonlarına ve partiküllerine maruz kalmanın yaşla ilgili akciğer fonksiyonundaki azalmayı hızlandırabileceği sonucuna varılmıştır [15]. Kaynak dumanı ile ilgili kanser çalışmalarının çoğunda nikel, krom veya krom (VI) ve diğer olası kanserojenlere odaklanılmıştır. Özellikle krom ve nikel ile temas halinde olan kaynakçıların böbreklerinde hasar meydana geldiği de belirlenmiştir [16]. Kaynak dumanı, tozlar ve gazlar çalışanlarda solunum yolu hastalıkları, deri sorunları, alerjik tepkiler, genel toksik reaksiyonlar ve kanser riski yaratabilir. Akciğer veya kalp hastalığı olanlar, beslenme sorunları yaşayanlar, yüksek tansiyonu bulunanlar ve aşırı kilolu bireyler tozların zararlarına karşı daha hassastırlar. Ayrıca tütün kullanımı da toz kaynaklı solunum hastalıklarının şiddetini artırır. Önceki çalışmalar, kaynak dumanı ve gazlarının pulmoner etkilerinin akciğer fonksiyonları ve akciğer kanseri ile sınırlı olmadığını göstermektedir. Kaynak dumanlarının, kaynakçılarda metal duman ateşi [17], pnömokonyozis/fibrozis [18-19] ve enfeksiyon/immünite [20-21] hassasiyetini artırabileceği olasıdır.

Paslanmaz çelikle çalışan kaynakçılarda sperm sayısında azalma ve üreme sorunlarının olduğu saptanmıştır. Bu duruma bağlı olarak kaynakçıların eşlerinde geç hamile kalma ya da düşük yapma riskinde bir artış gözlemlenmiştir. Mangan gibi son derece toksik maddelerle temas eden kaynakçıların, uzun vadeli maruz kalma durumlarında merkezi sinir sistemlerinde zararlar oluştuğu tespit edilmiştir.

Kaynak yapılırken havadaki azot ve oksijen bir araya gelerek azot oksit ve ozon üretir. Bu gazlar yüksek konsantrasyonlarda ölümcül olabilir ve aynı zamanda burun, boğaz tahrişine ve ağır akciğer rahatsızlıklarına sebep olabilir. Uzun süreli alüminyum maruziyeti, kaynakçılarda pnömokonyoz türü bir hastalık olan alüminyoza yol açabilir. Bu rahatsızlık ileri aşamalarında amfizem hastalığına benzeyen belirtilerle seyredebilir.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Kaynak sırasında oluşan gazlar, dumanlar ve tozlar, kullanılan malzemenin cinsi, kaynak yöntemi ve çevresel koşullar gibi birçok faktöre bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Özellikle elektrot tipi, koruyucu gazın bileşimi ve kaynak akımının şiddeti, duman oluşum hızını ve tozların morfolojisini doğrudan etkilemektedir. Uzun süreli ve korunmasız maruziyetin, solunum yolu hastalıklarına, alerjilere ve bazı durumlarda sistemik toksik etkilere yol açabileceği tespit edilmiştir. Bilhassa ince partikül boyutlarına sahip tozlar, alveollere kadar ulaşabilmekte ve kronik inflamasyona neden olabilmektedir.

Kaynak dumanı ve tozlarının, havadaki partikül madde konsantrasyonunu arttırdığı ve yerel hava kalitesini olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Bu durum, özellikle kapalı ve havalandırmanın yetersiz olduğu alanlarda daha belirgindir.

İş sağlığı ve güvenliği açısından gazlar, dumanlar ve tozlara maruziyetin etkilerini yok etmek veya en aza indirmek için aşağıdaki stratejiler uygulanmalıdır:

- Güvenli Çalışma Sistemleri (Safe Systems of Work - SSOW) tasarlanmalıdır.
- Kaynak yaparken, kaynakçılar başlarını dumandan uzak tutmalı ve dumanı solumamalıdır.
- Genel ve lokal havalandırma yöntemleri kullanılmalıdır. İşin özellikleri, iş yerinin niteliği ve kullanılan ekipmanlara uygun olarak tasarlanmış ve amaca hizmet eden havalandırma sistemlerinin planlanıp uygulanması zorunludur. Havalandırmanın yetersiz olup olmadığını belirlemek için hava örnekleme yapılmalıdır. Proses sırasında oluşan hava kirleticilerinin çalışma alanına dağılmasını engellemek ve bu kirleticilerin çalışma ortamındaki seviyelerini belirlenen eşik değerinin altına indirmek havalandırma sisteminin tasarlanmasındaki temel amacı olmalıdır. Kaynak prosesi sırasında oluşan hava kirleticilerini, kaynağına doğru yönlendirilmiş temiz hava akımı ile atölye ortamına dağıtarak yoğunluğunu düşürmek ve daha sonra ise ters yöndeki veya tavandaki emme ağızlardan çekerek dışarıya atmak esasına dayanmaktadır. Kabul edilebilir limitler sağlanamıyorsa ek bir havalandırma sistemi kurulmalıdır.

Kaynak sırasında meydana gelen hava kirleticilerini, kaynakçının solunum alanından etkili bir şekilde uzaklaştırmak ve belirlenen sınırlar içerisinde tutmak için şu kurallara riayet edilmelidir:

- \*Kaynakçı, kapalı mekanlarda çalışmaktan kaçınmalıdır.
- \*Kaynakçının faaliyet gösterdiği yerlerde, hava dolaşımını engelleyen yapısal öğeler bulunmamalıdır.
- \*Genel havalandırma dışında, bölgesel havalandırma sistemleri de devreye alınmalıdır.
- \*Kaynak faaliyetleri, diğer işlemlerden izole edilmiş bir alanda gerçekleştirilmelidir.
- \*Gerekli bakım, onarım ve uygun filtre değişiklikleri düzenli olarak yetkili kişilere yaptırılmalıdır.

Kaynak esnasında üretilen hava kirleticileri, genel havalandırma ile sağlık için belirlenen değerlere indirilemiyorsa ve bu havalandırma yöntemi yetersiz kalıyorsa, kaynakçının bulunduğu alandaki hava kalitesini artırmak amacıyla lokal havalandırma teknikleri kullanılmalıdır. Kaynak sırasında oluşan gaz ve dumanın yayılmasını engellemek için lokal emiş sisteminin ağızı, kaynak alanına olabildiğince yakın konumlandırılmalıdır.

Kaynak sonucunda ortaya çıkan hava kirliliği, 0,005 ile 100 mikron arasında değişen boyutlarda katı partiküller içermektedir. Bu maddeler, filtre cihazlarında çeşitli yöntemler ve değişik niteliklerdeki filtreler kullanılarak temizlenebilmektedir. Kaynak esnasında meydana gelen hava kirliliği içerisinde bulunan zararlı gaz ve buharlar, aktif karbon filtrelerine yakalanarak çalışma alanının havasının kirlenmesini engellenmiş olur [22].

Mekanik havalandırmanın kullanımı hava kalitesini artıracaktır. Ancak bazı durumlarda, doğal hava hareketi yeterli havalandırma ve taze hava sağlar.

- Paslanmaz veya sert yüzey gibi bazı elektrotlarla veya kurşun veya kadmiyum kaplı çelik ve diğer metaller veya kaplamalar üzerinde kaynak yapmak son derece toksik dumanlar üretir, bu nedenle özel havalandırma gerektirir. Bu tür durumlarda, maruz kalma mümkün olduğunca düşük tutulmalı ve eşik limit değerlerinin altında olmalıdır. Bu amaç için lokal egzoz veya mekanik havalandırma kullanılabilir.



- Kapalı alanlarda oluşan ozon, azot dioksit, karbon monoksit ve diğer zararlı gazlar çalışanların sağlığı için ciddi riskler oluşturabilir. Kapalı alanda yapılacak kaynak işleri öncesinde detaylı bir risk değerlendirmesi ve acil durum planı hazırlanmalıdır. İyi bir havalandırma sistemi kurulmalı ve bu sistemin faal olarak çalışıp çalışmadığı kontrol edilmelidir. Alanda gaz seviyesini ölçen detektörler kullanılmalı, çalışanlara uygun solunum koruyucu donanımlar verilmelidir. Aynı çalışanların uzun süre boyunca zararlı gazlara maruz kalmaması için iş rotasyonu yapılmalıdır. Mümkünse kaynak işleri otomatik veya yarı otomatik sistemlerle uzaktan yapılmalıdır.
- Kaynak işlemleri; yağdan arındırma, temizleme veya püskürtme işlemlerinden gelen klorlu hidrokarbon buharlarına yakın yerlerde yapılmamalıdır. Arkin ısı ve ışınları, fosgen adlı son derece toksik bir gaz ve diğer tahriş edici ürünleri oluşturmak üzere çözücü buharlarıyla tepkimeye girebilir.
- Kaynak operatörlerinin kaynak ekipmanı ve tüketim malzemeleri için malzeme güvenlik bilgi formunu (SDS) okuyup anlamaları gerekmektedir.
- Kaynak işlerinde çalışanlar, kirli havanın solunmasını önleyecek şekilde tasarlanmış yüzeyi alev almayan ilgili standartlardaki özelliklere sahip solunum koruyucular kullanılmalıdır. Partikül veya toz filtresinin gerekli olduğu ancak gazın da ortaya çıktığı durumlarda, gaz miktarı sınır değerinin altında ise aktif karbon filtreli partikül maskesi tercih edilebilir.
- Çalışanlara iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri verilmelidir. Çalışanların tehlikeler konusunda bilgilendirilmesi ve eğitilmesi gerekmektedir.
- Ortam ölçümleri periyodik olarak yapılmalıdır.
- Kaynakçıların sağlık durumlarının periyodik olarak kontrol edilmesi, maruz kaldıkları tehlikeli maddelerin vücutlarına etkilerini ölçmek için önemlidir.
- Kaynak işlemi sırasında oluşan toz, gaz ve dumanların yangın ve patlama risklerinin bertaraf edilmesi için plan ve prosedürler oluşturulmalıdır.
- Kaynak alanına sadece eğitim almış ve gerekli kişisel koruyucu donanım (KKD) kullanan kişilerin erişimine izin verilmelidir.
- Tüm ekipmanların ve güvenlik sistemlerinin düzenli olarak kontrol edilmesi ve bakımının yapılması gerekmektedir.
- Kaynak işlemi sırasında oluşabilecek kazalara karşı ilk yardım ekipmanı bulundurulmalı ve çalışanlar ilk yardım konusunda eğitilmelidir.
- Kaynak yapılan alanda kolaylıkla tutuşabilecek malzemelerin bulunmaması gerekmektedir.
- Kaynak gazları seviyesinin, müsaade edilen azami sınır değerlerini aşır aşmadığının tespit edilebilmesi için gaz detektörleri kullanılabilir.
- Elle yapılan kaynak işleri robot ile yapılabiliriyorsa robot kaynağı tercih edilmelidir.
- Günümüzde gelişen teknolojiye bağlı olarak kullanım alanı yaygınlaşan yapay zekâ uygulamaları (AI), kaynak sırasında oluşan gaz, duman ve tozların insan sağlığına etkilerini bertaraf etme amacıyla kullanılabilir. Bu kapsamda AI'nın kullanım alanlarından bazıları aşağıda belirtilmiştir:
  - \*Sensor ve kameralar ile sürekli olarak gaz, duman ve toz seviyeleri izlenebilir ve tehlike oluşturacak limitlere ulaşılması halinde AI yardımıyla uyarı verilmesi ve havalandırma sistemlerinin optimal şekilde yönetilmesi sağlanabilir.
  - \*Filtrelerin ne zaman değiştirilmesi veya temizlenmesi gerektiği belirlenebilir.
  - \*Yaklaşmakta olan tehlikeli durum algılanarak çalışanların önceden uyarılması sağlanabilir.
  - \*Kaynak sırasında oluşan gaz, duman ve tozlar ile ilgili oluşturulan veri setleri AI algoritmalarıyla analiz edilebilir. Bu sayede hangi faktörlerin gaz, duman veya toz emisyonlarını artırdığı veya azalttığı daha iyi anlaşılabilir.
  - \*Kaza ve kök neden analizleri yapılarak muhtemel kazaların nerede ve ne zaman olacağı AI ile tahmin edebilir.
  - \*Sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) simülasyonlarının yapay zekâ destekli yapılmasıyla çalışanlara gerçek dünya kaynak deneyimi güvenli bir ortamda sunulabilir.
  - \*Muhtemel kaza ve olay algoritmalarının analiz edilmesiyle risk değerlendirmesi ve acil durum planlarının daha etkin olması sağlanabilir.
  - \*AI destekli Internet of Things (IoT) ve sensor teknolojileri kaynakçı eğitiminde kullanılarak gerçek zamanlı veri toplama ve analiz imkânı sağlanabilir.
  - \*AI, kaynak yaparken kullanılacak en uygun malzemeler, ekipmanlar, gazlar, teknikler vb. hakkında önerilerde bulunabilir.

İş yerlerinde bu tedbirlerin uygulanması, çalışanların sağlığını koruma adına kritik öneme sahiptir. Ayrıca, işverenlerin bu konuda daha bilinçli olmaları ve gerekli tedbirleri alabilmeleri için daha fazla farkındalık yaratılması gerekmektedir.

#### TABLolar

Tablo 1. Kaynak Dumanlarının Sağlık Üzerindeki Etkileri

Tablo 2. Kaynak Gazlarının Sağlık Üzerindeki Etkileri

Tablo 3. Kaynak Sonucu Oluşan Organik Buharların Kaynağı ve Sağlığa Etkisi

Tablo 4. Kaynakçılıkta Bazı Metal Yüzey Kaplama Maddesi Ve Kirlilikleri

#### KAYNAKLAR

[1] Blunt, J., Balchin, N. C. (2002), Health and Safety in Welding and Allied Processes, 5th ed. Woodhead Publishing: Boca Raton, Florida.

[2] Racette, B. A., McGee-Minnich, L., Moerlein, S., Mink, J., Videen, T., Perlmutter, J. (2001), Welding-related Parkinsonism Clinical Features, Treatment, and Pathophysiology. *Neurology*, 56 (1), 8–13.

[3] Li, G. J., Zhang, L. L., Lu, L., Wu, P., Zheng, W. (2004), Occupational Exposure to Welding Fume among Welders: Alterations of Manganese, Iron, Zinc, Copper, and Lead in Body Fluids and the Oxidative Stress Status. *J. Occup. Environ. Med.*, 46 (3), 241–248.

[4] Antonini, J. M., Taylor, M. D., Zimmer, A. T., Roberts, J. R. (2004), Pulmonary Responses to Welding Fumes: Role of Metal Constituents. *J. Toxicol. Environ. Health, Part A*, 67 (3), 233–249., Safety and Security Conditions in Welding Processes.

[5] İSGİP (2018), Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İSGGM, KOBİ'ler için İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Rehberi: Risk Değerlendirmesi, İSG Performans İzleme ve Sağlık Tehlikeleri-Metal Sektörü.

[6] Ladou J. (2006), Occupational & Environmental Medicine, 4th edition, Table 27-7, Kaynakçılıkta Metal Yüzey Kaplama ve Kirlilikleri.

[7] Cantürk H., Nurdağ H. İ., Yılmaz F. (2013), Kaynak İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği, Yıldız Teknik Üniversitesi.

[8] Yılmaz, G. (2000), Kaynak Atölyelerinde Çalışanların Etkilendiği Riskler, Çalışma Ortamı Dergisi, Eylül-Ekim:4-6.

[9] Kreyling WG., Semmler-Behnke M., Möller ST. (2013), Differences in the biokinetics of inhaled nanoversus micron-sized particles, *Acc Chem Res.*, 46(3):724–722.

[10] Saber AT., Jacobsen NR., Jackson P., Poulsen SS., Kyjovska ZO., Halappanavar S., Vogel U. (2014), Particle-induced pulmonary acute phase response may be the causal link between particle inhalation and cardiovascular disease, *WIREs Nanomed Nanobiotechnol*, 6(6):517–531.

[11] Guha N., Loomis D., Guyton KZ., Grosse Y., Ghissassi FE., Bouvard V., Straaif K. (2017), Carcinogenicity of welding, molybdenum trioxide, and indiumtin oxide, *Lancet Oncol*, 18(5):581–582.

[12] Graczyk H., Riediker M. (2019), Occupational exposure to inhaled nanoparticles: are young workers being left in the dust? *J Occupational Health*, 61(5):333–338.

[13] Boyes WK., Thriel C. (2020), Neurotoxicology of nanomaterials, *Chem Res Toxicol*, 33(5):1121–1144.

- [14] Meo, S. A., Azeem, M. A., Subhan, M. (2003), Lung Function in Pakistani Welding Workers. *J. Occup. Environ. Med.* 2003, 45 (10), 1068–1073.
- [15] Christensen, S. W., Bonde, J. P., Omland, O. A. (2008), Prospective Study of Decline in Lung Function in Relation to Welding Emissions. *J. Occup. Med. Toxicol.*, 3 (6), 1–8.
- [16] Siew, S. S., Kauppinen, T., Kyyrönen, P., Heikkilä, P., Pukkala, E. (2008), Exposure to Iron and Welding Fumes and the Risk of Lung Cancer. *Scand. J. Work Environ. Health*, 34 (6), 444–450.
- [17] Mueller, E. J., Seger, D. L. (1985), Metal Fume Fever: A Review. *J. Emerg. Med.*, 2 (4), 271–274.
- [18] Buerke, U., Schneider, J., Rösler, J., Woitowitz, H. J. (2002) Interstitial Pulmonary Fibrosis after Severe Exposure to Welding Fumes. *Am. J. Ind. Med.*, 41 (4), 259–268.
- [19] Roesler, J., Woitowitz, H. (1996) Welder's Siderosis Progressing to Interstitial Pulmonary Fibrosis after Ongoing Exposure to Welding Fumes. *Eur. Resp. J. Suppl.*, 9 (1), 220S.
- [20] Coggon, D., Inskip, H., Winter, P., Pannett, B. (1994) Lobar Pneumonia: An Occupational Disease in Welders. *The Lancet*, 344 (8914), 41–43.
- [21] Tuschl, H., Weber, E., Kovac, R. (1997) Investigations on Immune Parameters in Welders. *J. Appl. Toxicol.*, 17 (6), 377.
- [22] Yılmaz G. (2009), Kaynaklı İmalat Atölyelerinde Sağlık ve Güvenlik Önlemleri, Mühendis ve makine, cilt 50, sayı: 599.

# PROSES BAZLI RİSK DEĞERLENDİRMESİ ile KAYNAK ATÖLYESİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN İYİLEŞTİRMELER

Ali Rıza PİŞKİN<sup>1</sup>, Zeynep ÜNLÜER<sup>2</sup>, Salih SULAR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>FNSS Savunma Sistemleri A.Ş., İmalat Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, e-posta: [aliriza.piskin@fnss.com.tr](mailto:aliriza.piskin@fnss.com.tr)

<sup>2</sup>FNSS Savunma Sistemleri A.Ş., İnsan Kaynakları Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, e-posta: [zeynep.unluer@fnss.com.tr](mailto:zeynep.unluer@fnss.com.tr)

<sup>3</sup>FNSS Savunma Sistemleri A.Ş., İmalat Mühendisliği Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, e-posta: [salih.sular@fnss.com.tr](mailto:salih.sular@fnss.com.tr)

## ÖZET

Günümüzde, risk değerlendirme uygulamaları ile iş sağlığı ve güvenliği alanında proaktif yaklaşımın korunması sağlanmaktadır. Bu amaçla, alan, süreç, kişi gibi farklı unsurlara özgü ve ihtiyaca yönelik risk değerlendirmeler yapılmaktadır. Bu çalışmada, 2017 – 2020 yılları arasında atölyede birinci faz üretimi yapılmış ve tamamlanmış olan askeri araç gövde üretiminin ikinci fazı için kaynak atölyesindeki operasyonların tüm safhaları gözden geçirilerek iş sağlığı ve güvenliği risklerini asgariye indirebilmek için çeşitli iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Liderlik fonksiyonu ve çalışan katılımını ön plana alan sistematik bir yaklaşımla analiz ve değerlendirmeler gerçekleştirilmiş risk kontrol hiyerarşisi takip edilerek toplu korunma önlemlerine odaklanılmıştır. Özellikle yerine koyma ve mühendislik önlemlerine karşılık gelen yerleşim planı ve çalışma alanı düzenlemeleri, iş ekipmanlarının kullanımı, iş akışlarının daha az riskli olacak şekilde değiştirilmesi gibi konulardaki iyileştirmelerle iş kazası ve ramak kala olaylarda %63,6 ve alan bazlı risk değerlendirmedeki risk puanında da %36,7 azalma tespit edilmiştir. Faz 1 üretimi için yapılmış olan alan bazlı risk değerlendirmesine göre daha fazla detaya inilerek farklı iyileştirme alanları tespit edilebilen proses bazlı risk değerlendirmesi Faz 2 için uygulanmış ve bu metodolojinin sürecin detay risklerine yönelik çözüm geliştirilebilmesi açısından avantajlar sağladığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Proses bazlı risk değerlendirme, kaynak, kontrol hiyerarşisi,

## IMPROVEMENTS IN THE WELDING WORKSHOP USING A PROCESS-BASED RISK ASSESSMENT

### ABSTRACT

Today, risk assessment practices ensure that a proactive approach in the field of occupational health and safety is maintained. For this purpose, risk assessments are made based on area, process, or person, as needed. Area based risk assessments were conducted prior to the first phase of production of WCV Project's hull which was carried out in the workshop between 2017 and 2020. All phases of the operations in the welding workshop were reviewed for the second phase of the project, and various improvements were made to minimize occupational health and safety risks. Analysis and assessments were carried out with a systematic approach that prioritizes the leadership function and employee participation, and the risk control hierarchy was followed, and collective protection measures were focused on. Especially in the substitution and engineering measures categories, improvements have been made in areas such as layout and work area arrangements, use of work equipment, and changing work flows to be less risky. Thus, a 63,6% decrease in incidents and a 36,7% decrease in the risk score in the area-based risk assessment were determined. The process-based risk assessment prepared for Phase 2 went into more detail and different improvement areas were identified compared to the area-based risk assessment used for Phase 1 production. In this respect, it has been seen that process-based risk assessment provides many advantages in terms of detailing.

**Keywords:** Process based risk assessment, welding, hierarchy of controls

## 1. GİRİŞ

Metal parçalarının ısı, basınç ya da her ikisi de kullanılarak birleştirilmesi olarak tanımlanabilen kaynak işlemlerinin yöntem itibariyle barındırdığı çeşitli riskler bulunmaktadır. Bunlar genel olarak, yangın, kızılötesi ve morötesi ışınlarla maruziyet sonucu cilt ve gözlerde yaralanma, metal dumanı ve diğer kimyasalların solunmasıyla solunum yolları hastalıkları, gürültü kaynaklı işitme kayıpları, elektrik yaralanmaları, basınçlı tüplerin patlaması, ergonomik ve sosyal riskler olarak sayılabilir [1].

Kaynak çalışmalarında da bütünsel iyilik halinin korunmasında önemli bir yere sahip olan iş sağlığı ve güvenliğinin etkin bir şekilde yürütülmesi proaktif bakış açısının tüm süreçlerde uygulanması ile sağlanabilmektedir. Bu proaktif yaklaşımın yapı taşlarından biri ise risk değerlendirmesidir.

Türk Dil Kurumu'nun Güncel Türkçe Sözlüğünde risk zarara uğrama tehlikesi olarak ifade edilmektedir [2]. Bununla birlikte iş sağlığı ve güvenliği yönetim sisteminin standardı ISO 45001'de risk, "belirsizlik etkisi" olarak tanımlanırken İSG riski "iş ile ilgili tehlikeli olayın/olayların veya maruziyetin gerçekleşme ihtimali ve olayın/olayların veya maruziyetin neden olabileceği yaralanma ve sağlığın bozulmasının ciddiyetinin kombinasyonu" tanımıyla yer almaktadır [3].

Kaynaklı imalat çalışmalarına özgü riskler her işyerinde farklılıklar göstermekte ve farklı seviyelerde ortaya çıkmaktadır. Çünkü süreç girdilerini oluşturan çalışanlar, ekipmanlar, sarf malzemeleri, işyeri, ortam koşulları, iş akışları, çalışma talimatları gibi unsurlar oldukça değişkendir. Hatta bu değişkenliği süreç çıktısı olan yarı ya da nihai ürünlerle net bir şekilde izlemek mümkündür.

Bu doğrultuda, alan bazlı gerçekleştirilen risk değerlendirmelerin bu denli detaya haiz olamaması ve farklılıkların daha genelleyerek belirtilmesi risklerin durumsallığı yeterince yansıtamadığı kanaatini oluşturmuş ve alan bazlı risk değerlendirmesine ek olarak süreç bazlı risk değerlendirmesi yapılması ihtiyacı hasıl olmuştur.

Bu çalışmanın daha önce birinci fazı tamamlanan ve alan bazlı risk değerlendirmesi ile üretilen bir askeri araç projesinin ikinci fazında gerçekleştirilmesi ve böylece kıyaslamaların daha kolay görülebilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın öncelikli amacı ise risklerin detaylı olarak tespiti ile yerinde düzeltici ve iyileştirici aksiyonlar olarak küçük adımlarla büyük iyileştirmelerin yakalanmasıdır. Bu iyileştirmelerin gerek iş kazası ve ramak kala olaylara yansımaları gerekse risk puanındaki düşüşlerle izlenmesi planlanmıştır. Düzeltici ve iyileştirici aksiyonlar için kontrol hiyerarşisinin adımlarının uygulanması esas alınmıştır. Ayrıca, proaktif yaklaşımın desteklenmesi için liderlik fonksiyonu ve çalışan katılımının üst seviyede sağlanması planlanmıştır.

## 2. YÖNTEM

Bu çalışmada, öncelikli olarak proses bazlı kaynak süreçlerinin riskleri tespit edilmeye çalışılırken aynı zamanda da risklerin azaltılması için sürekli iyileştirme faaliyetleri yürütülmesiyle risklerin en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda, yönetim sistemlerinin temelini oluşturan ve işletme yönetiminde sürekli iyileştirmenin sağlanması için izlenen planla, uygula, kontrol et ve önlem al (PUKÖ) döngüsü takip edilerek sürekli iyileştirmenin sağlanması için Çizelge 1'de adımları verilen yöntem geliştirilmiştir.

**Çizelge 1.** Yöntem Adımları

Planla	Adım 1	Ekibin kurulması
	Adım 2	Takvimin oluşturulması
	Adım 3	Uygulanacak yöntemin belirlenmesi
Uygula	Adım 4	Risk değerlendirmelerin yapılması
	Adım 5	Risk kontrol tedbirlerinin gerçekleştirilmesi
Kontrol	Adım 6	İSG parametrelerinin gözden geçirilmesi
Önlem Al	Adım 7	Yeni önlemlerin belirlenerek hayata geçirilmesi

## 2.1 Proje Ekibinin Kurulması

İş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının etkinliğini sağlayan proaktif yaklaşımın temeli risk değerlendirme olsa da çalışan katılımı ve liderlik gibi fonksiyonlarla tamamlanmaktadır. Bu nedenle çalışmayı yürütecek ekip bu iki fonksiyonun üst seviyede desteğini içerecek şekilde kurulmuştur.

Farklı bakış açılarını değerlendirmek, mevcut duruma karşı en iyi alternatif çözümleri maksimum fayda ile vermeyi başarmak için çalışma Şekil 1'de şematik olarak gösterilen geniş kapsamlı bir ekip tarafından yürütülmüştür. Ekibin liderliğini İmalat Müdürlüğü bünyesinde Fabrikasyon Birim Yöneticisi üstlenmiş olup bir İSG iyileştirme projesinin süreç sahipliği kapsamında ele alınmasıyla da örnek bir yapı olmuştur.



Şekil 1. Proje Ekibi

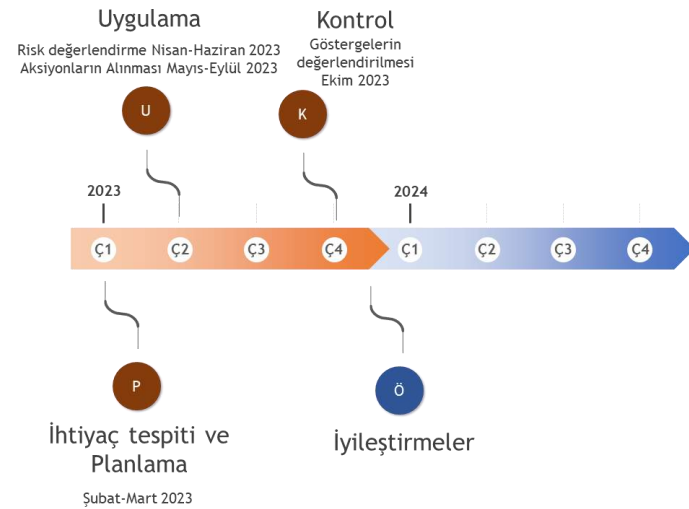
Proje ekibinde yer alan fonksiyonlar aşağıda listelenmiştir:

- İmalat Müdürlüğü: Üst yönetimden atölye çalışanlarına kadar sırasıyla, İmalat Direktörü, İmalat Müdürü, Fabrikasyon Birim Yöneticisi, Kaynak Postabaşları, Kaynak Teknisyenleri
- İmalat Mühendisliği Müdürlüğü: İmalat Mühendisliği Müdürü, İmalat Mühendisleri
- İnsan Kaynakları Müdürlüğü: İş sağlığı ve güvenliği profesyonelleri, çalışan temsilcileri

Tüm bu kişi ve fonksiyonlar çeşitli görevlendirmeler ve alt ekiplerle projenin etkin bir şekilde yürütülmesini sağlamıştır. Örneğin, haftalık toplantılarla izlemenin yapılması, risklerin değerlendirilmesi, iyileştirmelerin uygulanması gibi faaliyetler farklı ekipler tarafından gerçekleştirilmiştir.

## 2.2 Proje Takviminin Oluşturulması

Proje, bu çalışmaya ihtiyaç duyulduğunun tespit edilmesiyle başlamıştır. İhtiyaç üzerine yöntem adımları olarak belirtilen çalışmalar planlanarak takvimi oluşturulmuş ve Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Proje Takvimi



### 2.3 Projede Uygulanacak Yöntemin Belirlenmesi

Çalışmanın esas amacı alan bazlı yerine süreç bazlı risk değerlendirmesi yapmak olduğu için uygulanacak yönteme karar verilmesi gerekmektedir. Günümüzde birçok farklı risk değerlendirme yöntemi bulunmakta olup bunlar kalitatif ve kantitatif yöntemler olarak iki ana başlıkta toplanmaktadır.

Kalitatif yöntemler, sözel mantığın kullanıldığı, uygulayıcının kişisel tecrübe ve sezgilerinden yararlandığı ve matematiksel olmayan risk değerlendirme yöntemleridir. Bu nedenle, sayısal değerler yerine riskin büyüklüğü genellikle yüksek, çok yüksek gibi ifadelerle tanımlanmaktadır. Kantitatif yöntemlerde ise tehlikeli bir olayın meydana gelme olasılığı ile tehlikenin etkisi gibi parametreler sayısal değerler alıp matematiksel ve mantıksal yöntemlerle işlenerek risk büyüklüğü tespit edilir ve daha detaylı kıyaslamalar, önceliklendirmeler gerçekleştirilebilir [4].

Kantitatif yöntemlere çok çeşitli örnekler verilebilir. Her bir yöntemin farklı özellikleri ve hesaplamada kullanılan farklı parametreleri bulunmaktadır. L tipi matriste risk, tehlikenin olasılık ve şiddet değişkenleri ile hesaplanmaktadır [5,6]. Fine-Kinney metodunda ise olasılık ve şiddet değişkenleri ile frekans da göz önünde bulundurularak risk puanı tespit edilmektedir [7]. Hata türü ve etkileri analizi yönteminde ise, olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik değişkenlerinin bileşimi hesaplanarak risk puanı elde edilmektedir [8].

Uygulamanın yapılacağı işyerinde alan bazlı risk değerlendirmelerin Fine-Kinney metoduyla yapılması nedeniyle risk analizi ekiplerinin yönteme aşina olması ve değişkenlerin daha kolay elde edilebilirliği nedeniyle süreç bazlı risk değerlendirmesinde de Fine-Kinney metodunun kullanımı proje ekibi tarafından uygun bulunmuş ve seçim yapılmıştır.

### 2.4 Risk Değerlendirmelerin Yapılması

Risk değerlendirme metodolojisinde süreç tehlikelerin belirlenmesi ile başlar, tehlikelere bağlı riskler belirlenir, riskler analiz edilerek büyüklükleri tespit edilir ve önceliklendirme yapılır, risklere karşılık kontrol tedbirleri belirlenir ve bu aksiyonların hayata geçirilmesi sağlanır ve kontroller sistematik olarak gerçekleştirilir [9].

Bu adımlar takip edilerek birinci fazı 2017 – 2020 yılları arasında tamamlanan askeri araç gövde üretiminin ikinci fazı için kaynak atölyesindeki operasyonların tüm adımları gözden geçirilerek iş sağlığı ve güvenliği risklerini asgariye indirebilmek için Fine-Kinney yöntemiyle risk değerlendirmeler gerçekleştirilmiş, kontrol tedbirleri tespit edilerek uygulamaya alınmıştır.

Risk değerlendirmeler için imalat talimatları dokümantasyon açısından girdi oluşturmuş aynı zamanda saha gözlemleri de uygulamaların dokümanlarla paralellik göstermesinin kontrolünü sağlamak için katkı sağlamıştır. Bu aşamada risk değerlendirme ekibi görev almış olup bu ekipte yöneticilerden atölye çalışanlarına kadar farklı pozisyonlarda kişiler uzmanlıklarıyla katkı sunmuştur.

### 2.5 Risk Kontrol Tedbirlerinin Gerçekleştirilmesi

İşyerlerinde ortaya çıkan tehlikelere maruziyetin kontrol altına alınması, çalışanların sağlık ve güvenliğinin korunması açısından hayati öneme sahiptir. Kontrol hiyerarşisi, tehlikeleri azaltmak veya ortadan kaldırmak üzere maruziyetleri en iyi şekilde nasıl kontrol edilmesi gerektiğini belirlemek için beş seviyeli faaliyet kategorisi sunmakta olup Şekil 3'te görsel olarak verilmiştir. Bu beş adım etkililik sıralamasına göre şu şekildedir [10]:

#### 2.5.1 Ortadan Kaldırma

Tehlikeyi kaynağında yok etmeyi amaçlayan bu kontrol adımı en etkili olan yöntemdir. Buna örnek olarak, zehirli bir kimyasalın, ağır bir nesnenin veya keskin bir aletin kullanımını durdurmak için iş sürecinin değiştirilmesi verilebilir [10].

### 2.5.2 Yerine Koyma

İkame de denilen yerine koyma adımı tehlikenin kaynağına göre daha güvenli bir alternatifle değiştirilmesi mekanizması işletilir ve bu sırada potansiyel yeni riskler ve orijinal riskler karşılaştırılır. İkamenin etkililiği riskin potansiyelini azaltıp yeni riskler oluşturmaması ile değerlendirilebilir. Bu yöntem solvent bazlı kimyasallar yerine su bazlı kimyasalların kullanılması örnek olarak verilebilir [10].

### 2.5.3 Mühendislik Önlemleri

Bu önlemler, genellikle ekipman ve çalışma alanı değişiklikleri, koruyucu bariyerlerin sisteme eklenmesi, havalandırma ya da bunun gibi Teknik önlemlerle tehlikelerin çalışanlara temasını azaltmaya ya da önlemeye yönelik tedbirleri ifade eder [10].

### 2.5.4 İdari Önlemler

İdari kontroller, tehlikelere maruz kalma süresi, yoğunluğu ve sıklığını azaltarak risklerin düşürülmesini sağlar. Eğitimler, talimatlar, iş rotasyonları, imalat hızlarının ayarlanması, erişimlerin sınırlandırılması gibi örnekler bu önlemlere örnek olarak sayılabilir [10].

### 2.5.5 Kişisel Koruyucu Donanım

Kişisel koruyucu donanımlar (KKD), tehlikelere maruziyeti azaltmak için kullanılan ekipmanlar olup eldiven, gözlük, kulaklık, baret ve maskeler bunlara örnek verilebilir. Diğer kontrol yöntemleri riski yeterince azaltmadığında tehlikeli maruziyeti güvenli seviyelere indirmek için KKD'lere başvurulmaktadır. Ne yazık ki KKD toplu korunmayı sağlayamamakta, bireysel olarak risk maruziyetini azaltmaktadır [10].



Şekil 3. Kontrol Hiyerarşisi [10]

Önlemlerin belirlenmesinde etkinliğin sağlanması için kontrol hiyerarşisi adımları takip edilmeye çalışılarak riskli operasyonun ortadan kaldırılması öncelikli araştırma alanı olmuş, sırasıyla yerine koyma ve mühendislik önlemleri genel olarak risk skoru üzerinde belirgin farklar yarattığı ve etkin çözümlerin elde edilmesini sağladığı için bu adımlara yoğunlaşılması sağlanmıştır. Eğitim verilmesi ve ilgili alanlarda uyarı levhalarının bulunması gibi idari önlemlerle riskin gerçekleşme ihtimalinin azaltılması da göz ardı edilmemiştir. Kişisel koruyucu donanımlar ise son başvurulacak yöntem olarak belirlenmiştir.

## 2.6 İSG Kontrol Parametrelerinin Gözden Geçirilmesi

Çalışmanın planlama aşamasında, projenin hedeflediği iyileştirmelerin gerçekleşip gerçekleşmediğini izleyebilmek için belirlediği performans göstergeleri olmuştur. Bunlardan ilki daha önce alan bazlı gerçekleştirilen risk değerlendirmesindeki artık risk puanındaki yüzde azalma, ikincisi ise projeye konu olan araç tipindeki iş kazası ve ramak kala olayların sayısındaki yüzde azalma olarak belirlenmiştir.

Projeye ihtiyaç duyulan sıfır noktasından kontrol aşamasına kadar olan süreçte gerçekleştirilen iyileştirmeler sonucunda bu iki zaman aralığındaki değişimler göz önünde bulundurulmuştur.

## 2.7 Yeni Önlemlerin Belirlenerek Hayata Geçirilmesi

Sürekli iyileştirme döngüsünün son adımı olan önlem alma faaliyetleri kapsamında kontrol aşamasında öngörülen yeni uygulamaların hayata geçirilmesi planlanmaktadır. Sağlanan faydalar doğrultusunda çalışmaların yaygınlaştırılması öncelikli önlem olarak belirlenmiştir. Ayrıca kontrol aşamasında izlenen parametrelerin geliştirilmesi için de yenilikçi çalışmalar yapılması öngörülmektedir.

## 3. UYGULAMALAR

Sürekli iyileştirme döngüsünün planlama adımı ikinci bölümde açıklandığı şekilde tamamlandıktan sonra uygulama adımında risk değerlendirmeler gerçekleştirilmiş ve kontrol tedbirleri belirlenerek uygulamaya alınmıştır.

Bu çalışmada risk değerlendirmesi için zırhlı araç gövde imalatı işlemleri beş ana başlıkta incelenmiştir. Bu aşamalar;

- Plaka üstü parça kaynakları,
- Gövde plakalarının gövde çatım fikstüründe bir araya getirilip puntalanması,
- Gövde kaynakları,
- Gövde üzeri montaj yeri parçalarının puntalanması ve
- Montaj yeri kaynaklarıdır.

İstasyonlarda yapılan işler için talimatlar üzerinden operasyonlar tespit edilmiş ve her bir operasyona dair olası riskler görüşüldükten sonra istasyonda işi yapan personelle uygulamaların izlenmesi sağlanmış ve çalışan katılımını destekleyerek risklerle ilgili çözüm önerileri de birlikte değerlendirilmiştir.

Çalışma boyunca tespit edilen tüm bulgular İSG Risk değerlendirme çizelgesine işlenmiştir. Her bir riskin olasılık, şiddet ve frekansı göz önüne alınarak risk skoru belirlenmiş ve bu değer ışığında önlemler alınmaya, güvenlik seviyesi arttırılmaya çalışılmıştır.

Önlemler belirlenirken kontrol hiyerarşisinin toplu korunma tedbirlerinde kalmak hedeflenmiştir. Ağırlıklı olarak plaka üstü parça kaynakları ve gövde çatım aşamalarında havaleli parçaların atölye içinde taşınması ve stoklanması konularına yönelik iyileştirme fırsatları yakalanmıştır.

Kontrol hiyerarşisinin ilk ve en önemli basamağı olan tehlikenin ortadan kaldırılması için iş akışlarında ya da talimatlarda değişiklik yapılması ile tehlikeli süreçlerin elimine edilmesi sağlanmış olup detaylı örnekler aşağıda sıralanmıştır:

- Gövde içinde ağır plakanın elle manipüle edilmesi işinin proses sırasının incelenmesi ve uygulama sırasının değiştirilmesi ile yapılmamasının sağlanması
- Çalışma kapsamında proses sırasında değişiklik yapılarak gövde içerisinde tavan plakasının konulmasından sonra puntalaması yapılan yakıt tankı bölgesi plakalarının tavan konulmadan önce koyulması ile ağır malzemenin yardımcı ekipman olmadan manipüle edilmesine bağlı riskin ortadan kaldırılması.

Yerine koyma önlemleri kapsamında özellikle kullanılan alet, ekipman ve aparatların daha az tehlikeli olanla değiştirilmesi sağlanmıştır. Gövde plakalarının atölye içinde stoklandıkları alanlarda ve ekipmandaki bazı iyileştirmeler ile yine plakaların taşınması ve fikstüre sıkılması sırasında yapılan iyileştirmeler bunlara örnek olarak verilebilir ve aşağıdaki örneklerle uygulamalar genişletilebilir:

- Stoklandığı aparatlardan alınarak çatıya geniş yüzeyi yere paralel olarak alınmakta olan bir plakanın taşıma aparatlarının yeni ve zırh çeliği taşımaya uygun olanları ile değiştirilmesi ile malzemelerin taşınması sırasında doğabilecek riskler azaltılması,

- Gövdenin final drive parçalarının fikstüre bağlanmasında kaynak ekibinde standart olarak bulunan el aletleri (kurbağacık) kullanımında karşılaşılan riskli durumların ortadan kaldırılması için tork kollu lokmalar tedarik edilmesi ve ekibin kullanımına sunulması,
- Alt parça robotunda kaynakları yapılan alt gövde kompleksine erişim için kullanılan merdivenin uygun ölçülerde, uygun basamak sayısına bağlı koruyuculu merdiven ile değiştirilmesi.

Kontrol hiyerarşisinde önemli yer tutan ve risklerin azaltılmasında etkin bir yöntem olarak kullanılan mühendislik önlemleri kapsamında atölye stok alanlarının yerleşim düzenlemeleri, ekipman ve aparatların daha güvenli kullanımını sağlayacak değişiklikler yapılması önemli iyileştirmeler sağlamıştır. Uygulama örneklerine dair detaylar aşağıda yer almaktadır:

- Sponson plakalarının stoklanmasında kullanılan aparatta yapılan tasarım değişikliği ile plakaların birbirleri üzerinden kayma riskinin ortadan kaldırılması ve gövdenin sağ ve sol tarafında kullanılacak plakalarında kolaylıkla birbirlerinden ayrıştırılması ile ergonomik kolaylıklar sağlanması,
- Yerleşim planı değişiklikleri ile stok alanlarında malzemeye erişimin kolaylaştırılması, ergonomik risklerin düşürülmesi,
- Dört gövde için set halinde atölyeye getirilen gövde plakaları tüm stoklama aparatlarını doldurduğunda aparatların arasındaki boşluklar erişimi kısıtlar haldeyken aynı alanın verimli kullanılması sağlanarak erişimlerin iyileştirilmesi,
- Dik stoklanan gövde tavan plakasının aparatının önüne ve arkasına uygun ölçülerde merdivenler sabitlenerek buradaki erişimlerin kolaylaştırılması ve ergonomik olarak iyileştirilmesi,
- Kaynak sonrası alt gövde kompleksinin stoklanmasında kullanılan aparatların tasarlanıp uygulamaya alınması ile güvenlik düzeyinin artırılması

İdari önlemler kapsamında, çeşitli kuralların tanımlanması, görsel öğelerle hatırlatma ve uyarıların yapılması, tek nokta dersi olarak adlandırılan eğitim sistematığının geliştirilmesi sağlanmıştır. Aşağıda detaylı uygulama örnekleri listelenmiştir:

- Stoklama ve taşıma ile ilgili ambar ve atölye personelinin faydalanabileceği görsellerin oluşturulması ve atölyede uygun yerlere asılması
- Alt gövde kompleksi ile ilgili kaynak öncesi ve sonrasında stoklama adedi ile ilgili kural belirlenmesi. Belirlenen kurala uygun bilgilendirici görsellerin oluşturulması ve ilgili alanlara asılması
- Bir işlemden riski düşüren unsurların iş talimatlarında uygulama adımlarının detaylı olarak anlatılması
- Yanlış uygulamalar ve doğrusunun hem görsel hem de kısa açıklama ile anlatıldığı mini eğitim sistematığı olan tek nokta dersinin uygulamaya alınması.

Kontrol hiyerarşisinin son basamağı olan kişisel koruyucu donanımlar alan bazlı risk değerlendirmesinden farklı olmadığından yeni bir uygulama tanımlanmamıştır.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile daha önce birinci fazı tamamlanan ve alan bazlı risk değerlendirmesi ile üretilen bir askeri araç projesinin ikinci fazında süreç bazlı risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiş olup sürece dair risklerin detaylı olarak tespiti sağlanmıştır. Bu sayede düzeltici ve iyileştirici aksiyonlar daha nokta atışı şekilde yapılarak küçük müdahalelerle etkin ve büyük sonuçlar elde edilmiştir.

İyileştirmelerin kategorize edilmesiyle, yerleşim planlarında değişiklikler yapılması, stok alanlarının düzenlenmesi, iş süreçlerinin yeniden ele alınarak risklere göre düzenlenmesi, malzemelere erişimlerin kolaylaştırılması, kaldırma aparatları ve talimatlarında düzenlemeler yapılması, iş ekipmanları ve aletlerde değişiklikler yapılması, farkındalık ve bilinçlendirme faaliyetleri çalışmaları faaliyet başlıklarını oluşturmaktadır.

Süreç bazlı risk değerlendirmeler de Fine Kinney metodu ile gerçekleştirilmiş olup belirlenen düzeltici ve iyileştirici faaliyetlerin tamamlanmasıyla ilk risk puanı ve artık risk puanı arasında %58,1 düşüş tespit edilmiştir.

Bu faaliyetlerin gerçekleştirilmesi alan bazlı risk değerlendirmelere de yansımış olup artık risk puanının çalışma sonrasında %36,7 azaldığı belirlenmiştir.

Kaynak atölyesinde, belirlenmiş araç grubunda yaşanan iş kazası ve ramak kala olayların faz 1 ve faz 2 kıyaslaması yapıldığında ise %63,6 azalma görülmüş olup yapılan iyileştirmelerin etkisi olduğu değerlendirilmiştir.

İyileştirmeler her ne kadar fiziksel ortam ve iş ekipmanı iyileştirmelerine odaklanmış gibi görünse de çalışan katılımının sağlanması, farkındalık çalışmaları, üst yönetim taahhüdünün hissedilmesi gibi konular da psikosozal risk etmenleri üzerinde de olumlu etki göstermiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Karadağ, Ö. K. (2001). Kaynak İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği. *TTB Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi*, 2(8), 27-32.
- [2] İnternet: Türk Dil Kurumu Sözlükleri. URL: <https://sozluk.gov.tr>, Son Erişim Tarihi: 20.10.2023.
- [3] International Organization for Standardization. (2018). *ISO 45001:Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use*. Geneva: ISO 1-41.
- [4] Ceylan, H., Başhelvacı, V. S. (2011). Risk Değerlendirme Tablosu Yöntemi ile Risk Analizi: Bir Uygulama. *International Journal of Engineering Research and Development*, 3(2), 25-33.
- [5] Ak M.F., (2020). Comparison of Risk Assessment Methods within the Scope of Occupational Safety in the Construction Sector. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 272-282.
- [6] Bayraktar H., Sahtiyancı E., ve Kuru A. (2019). Risk Değerlendirme Matris Yöntemi Kullanarak Okullarda Deprem Kaynaklı Yapısal Olmayan Risklerin Olası Etkilerinin Belirlenmesi. *Afet ve Risk Dergisi*, 2(2), 128-152.
- [7] Erzurumluoğlu K., Köksal K. N., ve Gerek İ. H. (2015). İnşaat Sektöründe Fine-Kinney Metodu Kullanılarak Risk Analizi Yapılması. 5. *İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu*, 137, 146.
- [8] Feryal C.G., Atalay K.D., ve Eraslan E. (2018). HTEA Temelli Critic Yöntemi İle Bir Devlet Hastanesinde Risk Değerlendirme Uygulaması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6176-187.
- [9] Kabakulak T., (2019). Bir Tekstil İşletmesinde Risk Değerlendirme Uygulaması: 5x5 Matris ve HAZOP. *Karaelmas İş Sağlığı Ve Güvenliği Dergisi*, 3(2), 97-111.
- [10] İnternet: The National Institute for Occupational Safety and Health. Hierarchy of Controls. URL: <https://www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy/default.html>, Son Erişim Tarihi: 20.10.2023.

# KAYNAK SIRASINDA OLUŞAN GÜRÜLTÜ MARUZİYETİNİN ETKİLERİ VE ALINMASI GEREKEN TEDBİRLER

*Hakan ERDOĞAN<sup>1</sup>, Bedri TEKİN<sup>2</sup>*

1 İstanbul Gedik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, (ORCID: 0000-0001-8351-7969), erdoganeng@gmail.com

2 Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-3507-3715), btekin55@yahoo.com

## ÖZET

Sanayi devriminden bu yana, teknolojik gelişmeler ve endüstriyel uygulamalar, üretim süreçlerinin çeşitliliği ve kapsamını büyük ölçüde artırmıştır. Özellikle metal işleme sanayiinde, malzemelerin birleştirilmesi metotlarından biri olan kaynak işlemleri, konstrüksiyon, imalat ve onarım gibi geniş bir alanda kendine yer bulmuştur. Kaynak işleminin kendisinden veya kullanılan diğer ekipmanlardan kaynaklı gürültü ile ilgili tedbirler alınması gerekir. Etkili bir gürültü yönetim stratejisi, gürültüyü azaltma yöntemlerini ve koruyucu önlemleri kapsamalıdır. Bu çalışmada kaynak işlerinde karşılaşılan yüksek gürültü seviyeleri ve bu gürültünün çalışanlar üzerindeki olası etkileri üzerine odaklanmaktadır. Ayrıca iş sağlığı ve güvenliği açısından önleyici, sınırlandırıcı ve düzeltici faaliyetlere de yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: kaynak, gürültü, iş sağlığı ve güvenliği

# EFFECTS OF NOISE EXPOSURE DURING WELDING AND PRECAUTIONS TO BE TAKEN

## ABSTRACT

Since the industrial revolution, technological developments and industrial applications have greatly increased the diversity and scope of production processes. Especially in the metalworking industry, welding processes, which are one of the methods of joining materials, have found a place in a wide range of areas such as construction, manufacturing and repair. Measures need to be taken with regard to noise from the welding process itself or from other equipment used. An effective noise management strategy should include noise reduction methods and protective measures.

This study focuses on the high noise levels encountered in welding operations and the possible effects of this noise on workers. It also includes preventive, restrictive and corrective actions in terms of occupational health and safety.

Keywords: welding, noise, occupational health and safety



## GİRİŞ

Kaynak, iki veya daha fazla materyalin, ısı ve/veya basınç uygulanarak ve genellikle bir dolgu malzemesi kullanılarak birleştirildiği bir üretim sürecidir. Bu süreç, genellikle metal ve termoplastik gibi malzemelerin yerel olarak eritilmesi ve birleştirilmesi ile karakterize edilir [1]. Kaynak işlemleri, aynı veya farklı cins materyallerin birleştirilmesini sağlayarak, homojen ya da kompozit yapıların oluşturulmasına olanak tanır. Günümüzde kaynaklı prosesler, birleştirme yöntemleri arasında verimlilik, güvenilirlik ve maliyet açısından en yaygın kullanılan yöntemdir. Kaynak; endüstriyel üretimde, özellikle metal işleme alanında, yapılar, gemiler, otomobiller, boru hatları ve bir dizi diğer uygulamalar olmak üzere geniş bir uygulama yelpazesi bulan bir birleştirme metodudur [2]. Kaynak işlemleri, kullanılan enerji kaynaklarına, malzemelere ve süreçlere bağlı olarak farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Kaynak yapılan malzemenin durumuna göre kaynak türleri Tablo 1’de gösterildiği gibi ergitme kaynak yöntemleri ve katı hal kaynak yöntemleri olarak iki gruba ayrılabilir [3].

Tablo 1. Kaynak Yapılan Malzemeye Göre Kaynak Türleri

Ergitme Kaynağı Türleri	Katı Hal Kaynağı Türleri
<ul style="list-style-type: none"><li>-Gaz ergitme kaynağı</li><li>-Elektrik ark kaynağı</li><li>• Örtülü elektrot ile ark kaynağı</li><li>• Tozaltı kaynağı</li><li>• Koruyucu gazla kaynak (MIG/MAG)</li><li>• Tungsten inert gaz kaynağı (TIG)</li><li>• Elektrocuruf kaynağı</li><li>• Plazma ark kaynağı</li><li>• Atomik hidrojen kaynağı</li><li>• Alümina termit kaynağı</li><li>• Elektron ışın kaynağı</li><li>• Lazer kaynağı</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>*Ultrasonik kaynak</li><li>* Elektrik direnç kaynağı<ul style="list-style-type: none"><li>- Dikiş Kaynağı</li><li>- Alın Kaynağı</li></ul></li><li>* Sürtünme kaynağı</li><li>* Difüzyon kaynağı</li></ul>

Çalışanların kaynak işleri esnasında maruz kaldığı bir diğer risk faktörü de yüksek desibeldeki gürültüdür. Gerek yapılan kaynak yönteminden dolayı gerekse de kaynak yapılırken kullanılan ekipmanlardan kaynaklı gürültü söz konusudur. Kaynak yapılırken kullanılan ekipmanlar, presler, motorlar, matkaplar, çekiçler ve testerele gibi aletler ciddi derecede ses çıkartırlar. Kaynak işinden kaynaklanan gürültüye maruz kaldıktan sonra kaynakçıların işitme yetenekleri azalma gösterir. Kaynakçıların %35.7’si kaynakla ilişkili işitme sorunları yaşamaktadır [4]. İşitme eşiği 0 dB (A), ağrı eşiği ise 140 dB (A)’dır. İnsan kulağı tarafından işitilebilir olan frekans aralığı 20-20000 hertz aralığındadır [5]. Kaynak işlemleri sırasında meydana gelen gürültü, ortalama olarak 85 ile 105 dB (A) aralığındadır.

Türkiye’de gürültü ile ilgili; maruziyet sınır değeri 87 dB(A), en yüksek maruziyet eylem değeri 85 dB(A) ve en düşük maruziyet eylem değeri 80 dB(A) olarak tanımlanmaktadır. Çalışanların maruz kaldığı gürültü düzeyi, işyerinde gerçekleştirilen risk değerlendirmesinde ele alınmalı ve risk değerlendirmesi sonuçlarına göre gereken durumlarda gürültü ölçümleri yaptırılmalıdır. Çalışanın maruziyeti, hiçbir durumda maruziyet sınır değerlerini aşmamalıdır. Tanımlanan eylem değerlerinde ise gürültü kaynağı, çalışma ortamı ve çalışmada tedbirler alınmaya başlanılmalıdır [6].

Kaynak prosesinde gürültü yapılan kaynağın türüne göre de değişmektedir. Ark kaynağı ile plazma kaynağı en gürültülü kaynak yöntemleridir. Kapalı alanlarda yapılan kaynak çalışmalarında ve gemi yapım işyerlerinde gürültünün şiddeti daha da artmaktadır. Gaz metal ark kaynağı ve metal gaz kaynağı gibi yöntemlerde gürültü seviyesi, 120 dB (A)’ya kadar çıkabilen yüksek şiddetlere ulaşmaktadır. Ancak, bu kadar yoğun gürültü, kaynakçı tarafından kısa süre zarfında fark edilemeyebilir.

## LİTERATÜR TARAMASI

Turan (2015), 74.871 iş kazasından 249’unun kaynak çalışmaları sırasında oluştuğunu belirtmiştir. Kaynak işlemlerinin yapıldığı mekanlarda taşlama ve çekiçleme işlemlerinin de yaygın olarak gerçekleştirildiği, bu tür işlerde gürültü seviyelerinin pik noktada 100 dB(A) gibi yüksek değerlere ulaştığı ve ortalama gürültü düzeyinin 85 dB (A)’yı geçtiği kaydedilmiştir [7]. Tadesse ve arkadaşlarının (2016) yürüttüğü bir araştırmada, 555 kaynakçıyla anket yapılmıştır. Ankete göre çalışanlar özellikle kaynak yapılırken duman ve gazlar, toz, yoğun ve parlak ışık, yüksek gürültü, titreşim, elektrik, aşırı sıcaklık ve ergonomik olmayan çalışma şartlarına maruz kaldıklarını belirtmişlerdir [8]. Joseph ve arkadaşları (2017) tarafından yürütülen bir çalışma, kaynak işlerinde görev alan bireylerin, karşılaştıkları risklere dair bilinç seviyelerini ve kişisel koruyucu ekipman kullanım

durumlarını belirlemeyi hedeflemiştir. Bu doğrultuda, 155 çalışana anket yapılmıştır. Ankete katılan kaynakçıların %74,9'u elektrik ark kaynağı ile çalıştığını ve %72,9'unun günlük sekiz saat çalışma düzenine sahip olduğunu belirtmiştir. Katılımcıların %62,6'sı, mesleki tehlikelerin bilincinde olduklarını ifade etmiştir. İşitme sorunu yaşayanların oranı %2,6, görme sorunu yaşayanların oranı ise %7,1 olarak saptanmıştır. Kaynakçıların; %66,7'si yüz koruyucu, %74,8'i göz koruyucu, %40'ı kulak koruyucu, %54,6'sı el koruyucu ve %91,4'ü ayak koruyucu kullanmaktadır. Çalışma, kişisel koruyucu ekipman kullanımının arttığı durumda rastlanan sağlık problemlerinin azaldığını ve uygun önlemler alan işçilerin yaşadığı sorunların minimuma indiğini ortaya koymuştur [9]. Aman ve arkadaşları (2017) kaynakçıların çalışma şartlarındaki uygunsuzlukların uzun vadede meslek hastalıklarına yol açtığını ve işin kalitesini etkilediğini belirtmişlerdir. Kaynakçı sağlığı ile ilgili çalışmalarda göz problemleri, işitme kaybı ve özellikle dizler, boyun ve sırtta olmak üzere kas-iskelet sistemi problemleri görülmüştür [10]. Gebrezgiabher ve diğerleri (2018) tarafından yapılan bir çalışma, kaynak işlerindeki çalışanların iş sağlığı ve güvenliği bilinci ile iş güvenliği önlemlerine olan uyumlarını incelemiştir. Ankete katılanların %51,9'u mesleki tehlikelere dair bilgi sahibi olduklarını, %86,5'i ise kişisel koruyucu donanım kullandıklarını ifade etmiştir. Çalışanlar arasında en fazla bilinci olan alanlar, %84,6 oranıyla iş kazalarını önleme ve %77,7 ile elektrikle ilgili tehlikeler olarak belirlenmiştir. Kişisel koruyucu donanım ile ilgili sorulara verilen yanıtlara göre, %80,8 ile göz koruyucu en sık kullanılan ekipman olurken, ardından %76,9 ile önlük kullanımı gelmiştir. En az kullanılan kişisel koruyucu ekipmanın %34,2 ile kulak koruyucu olduğu saptanmıştır [11].

Kahraman ve Gülenç (2020) çalışmalarında, kaynak işlemlerinin tanımını yapmış ve bu işlemler sırasında ortaya çıkan risk faktörlerini açıklamışlardır. Elektrik ark kaynağı ve gaz altı kaynağı sırasında gürültü, infrared ışınlar, ultraviyole radyasyon, termal stres ve yanıklar gibi fiziksel risk faktörlerinin ortaya çıktığı belirtilmiştir. Diğer yandan, toz altı kaynağında ısımanın olmadığı, bu nedenle termal stres ve gürültünün ön plana çıkan fiziksel riskler olduğu ifade edilmiştir. Metal sektöründe gerçekleştirilen çalışmaların ortalama olarak 90 – 95 db (A) gürültü seviyesine sahip olduğu ve bu nedenle iş yerlerinde ses bariyerlerinin oluşturulması ve yalıtım malzemelerinin kullanılmasının önem taşıdığı vurgulanmıştır. Ayrıca, çalışanların kulak koruyucu kullanarak gürültü şiddetini azaltmada önemli bir rol oynayacakları belirtilmiştir [12]. Beskopylny ve arkadaşları (2020), çubuk yapıların kaynaklarının sertleştirilmesi sırasında gürültünün spektral özelliklerini incelemiştir. Operatörün çalışma alanında izin verilen maksimum değerlerin üzerinde ses basıncı seviyelerine maruz kaldıklarını ortaya koymuşlardır [13]. Baek ve Nam (2021) yaptıkları çalışmada kaynakçıların performansının, kaynağın kalitesi ve hızını etkilediğini belirtmişlerdir. Uygun olmayan postürler, zorlayıcı eforlar, sürekli tekrarlanan ağır işler, yorgunluk, fiziksel risk etmenlerinin birçok ergonomik zorlukları beraberinde getirdiğini ortaya koymuşlardır [14].

## GÜRÜLTÜYE BAĞLI İŞİTME KAYBI

Ses; mekanik vibrasyon enerjisiyle oluşturulan, elastik bir ortamda, genellikle hava yoluyla yayılan ve işitsel algıya neden olan bir olgudur. Gürültü, rahatsız edici ve işitme için zararlı olan sestir. Etkilenme yıllar içinde ve yavaşça gelişir. Kaynak işlemleri sırasında oluşan gürültü, genel olarak işleme gürültüsü, ekipman gürültüsü ve çevresel gürültüden kaynaklanmaktadır. Kaynak prosesinin yanında işyerindeki diğer önemli gürültü kaynakları arasında pnömomatik darbeli aletler, yüksek hızlı taşlama aletleri, presler, torna, tesviye, testere ve diğer sanayi makineleri, plazma püskürtme tabancalarının kullanımı ve havaalanları sayılabilir. Metal ve kaynak işlerinde ortaya çıkan ortalama gürültü seviyeleri tablo 2'de verilmiştir. Tablodaki verilere bakıldığında değerlerin genel olarak sınır değeri aştığı görülmektedir. Bu seviyelerin kabul edilebilir risk seviyesine düşürülmesi için kişisel gürültü maruziyeti ölçümleri gerçekleştirilmelidir. Kişisel gürültü maruziyeti, "TS EN ISO 9612 Akustik Çalışma Ortamında Maruz Kalınan Gürültünün Belirlenmesi Mühendislik Yöntemi" standardında yer alan kriterler doğrultusunda ölçülerek değerlendirilmektedir [15].

Tablo 2. Metal Ve Kaynak İşlerinde Ortalama Gürültü Değerleri

Ortalama Gürültü Düzeyleri	Proses Türü
75 dB (A) ve altı	TIG kaynağı
85-95 dB (A)	Örtülü Elektrot Ark Kaynağı
95-102 dB (A)	MIG ve MAG Kaynağı
100-115 dB (A)	Hava arkı oluk açma
95 dB (A)	Alevle oyma
100 dB (A) ve altı	Alevle Kesme
105 dB (A)	Talaş Kaldırma
95-105 dB (A)	Bileme

Sürekli olarak 100 dB'lik gürültüye maruz kalmak, ortalama olarak 5 yılda 5 dB'lik, 20 yılda 14 dB'lik ve 40 yılda 19 dB'lik bir işitme kaybına yol açar. İşitme kaybını belirleyen unsurlar arasında gürültünün şiddeti (dB), karakteri (sürekli, aralıklı, geçici), frekansı, türü, maruz kalınan süre ve bireysel hassasiyet yer alır. Gürültüye bağlı kronik işitme kaybı, kümülatif koklear gürültü maruziyetinin, yani birikimli mikro travmanın sonucudur.

Kokleadaki kılsı hücrelerin hasarına bağlı sensorinöral tipte bir işitme kaybıdır. Geçici olan işitsel yorgunluk olarak da tanımlanır.

Başlangıçta geçici işitme eşiği kayması vardır. Gürültü etkisi sonlandığında, işitme yetisinin 24 saat içinde normale dönmesi umulur. Fakat gürültüye maruz kalma sürekli hale geldiğinde, işitmedeki toparlanma giderek azalır ve bu durum kalıcı işitme kaybına yol açabilir. İlk aşamadaki değişimler, kokleanın taban bölgesindeki hücrelerin zarar görmesiyle ilişkilidir. İlk işitme kaybı belirtileri odyometrik grafikte genellikle 4000 Hz yakınlarında ortaya çıkar. Gürültüye maruz kalma devam ettiği sürece, 4000 Hz temelindeki bu çentik daha belirgin ve geniş bir hale gelir. Sıklıkla bu duruma kulak çınlaması da eşlik edebilir [16].

Gürültünün insan vücudu üzerindeki fizyolojik etkileri çeşitli biyolojik değişimleri içerir. Ana etkiler arasında kaslarda gerilme, stres, yükselen kan basıncı, değişen kalp ritmi ve kan akışı, göz bebeklerinin genişlemesi, solunumun hızlanması, dolaşım problemleri ve refleks tepkiler bulunur. Psikolojik açıdan, gürültü sinirlilik, korku, huzursuzluk, yorgunluk ve zihinsel işlevlerde yavaşlamaya neden olabilir. Beklenmedik yüksek gürültü seviyeleri bireylerde korku tepkisi tetikleyebilir. Performans üzerindeki etkileri ise iş veriminde düşüş ve duyulan seslerin net algılanamaması şeklindedir. Konuşmanın net bir şekilde duyulması ve anlaşılması büyük ölçüde arka plan gürültüsünün seviyesine bağlıdır. Bir alanda belirli bir görev veya işlev için aşırı arka plan gürültüsü olduğunda, iş performansı olumsuz etkilenebilir. Gürültünün insan sağlığı üzerine etkileri Tablo 3'te gösterilmiştir [17].

Tablo 3. Gürültünün İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri

FİZYOLOJİK ETKİLERİ	PSİKOLOJİK ETKİLERİ	PERFORMANS ETKİLERİ
İşitme kayıpları Kan basıncının artması Kalp atışlarında değişim Dolaşım bozuklukları Solunumda hızlanma Terlemede artış Mide bulantısı Baş ağrısı Göz bebeklerinde büyüme İktidarsızlık	Davranış bozuklukları Uyku bozuklukları Aşırı sinirlilik ve tepkiler Konuşurken bağırma Hoşnutsuzluk Tedirginlik Baş ağrıları Stres	İş veriminin düşmesi İş kalitesinin düşmesi Konsantrasyon bozukluğu Hareketlerin yavaşlaması Dinlenmenin bozulması

Gürültüye bağlı rahatsızlıkları akut ve kronik etkiler olarak da sınıflandırmak mümkündür. Akut etkiler içerisinde Nörosensoryal etkiler ve fiziksel hasarlar yer almaktadır. Nörosensoryal etkiler başdönmesi, kulak çınlaması, işitmenin azalmasıdır, total işitme kaybına kadar ilerleyebilir. Akut akustik travmadaki işitme kaybı nörosensoryal veya mikst tipte, simetrik ya da asimetrik olabilir. Maruziyet süresi ve gürültü düzeyine bağlı olmak üzere, genellikle kısmen geri dönüşümlüdür (reversibl). Fiziksel hasar; timpan zarında laserasyon, kanama olabilir. Lezyon membranda, orta kulakta ve kokleadadır. Kronik etkilerde mesleki işitme kaybı söz konusudur. Sinsi ve yavaş gelişir, gürültüden uzaklaşmakla ilerlemesi durur. Çeşitli aşamalarında ciddiyetini ayırt etmek mümkündür. Tinnitus olguların yarısında bulunur ve her aşamada duyulabilir. İşitme azlığı duysal duyarlılığın nicelik olarak azalmasıdır. Sesleri ayırt etme yeteneği azalır, akustik sinyalleri ayırt etme yeteneğinde niteliksel bir bozulma vardır. Lezyonun yeri kokleadır. Kayıp nörosensoryal tiptedir ve daha çok 3-6 kHz frekanslarındadır. Genellikle bilateral, simetrik, irreversibldir. Bazen iki kulak arasında belirgin fark olur. Atıcılık bunun örneğidir. Atıcılarda, sağ omuz kullanılıyorsa, kafanın sağ kulağı gölgeleyip koruması nedeniyle sol kulakta daha fazla işitme kaybı olur. Gürültü seviyesi ile sağlık etkileri de Tablo 4'te gösterilmiştir [18].

Tablo 4. Gürültü Seviyesi İle Sağlık Etkileri

GÜRÜLTÜ SEVİYESİ ARALIĞI	SAGLIĞA ETKİSİ
60 -65 dB	Stres, huzursuzluk
70-75 dB	Kardiyovasküler etkiler, uyku bozuklukları
85 dB	İşitme Kaybı, Tinnitus
90-140 dB	İşitme sisteminde ani hasarlar oluşması

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Kaynak işlerinde ölçülen gürültü değerlerin hem prosesin kendisinden hem de kullanılan diğer ekipmanlardan dolayı yüksek şiddette olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. Kaynak işlemlerinde ortaya çıkan gürültünün etkilerini en aza indirmek için oluşturulacak strateji hem gürültü azaltma yöntemlerini hem de koruyucu önlemleri içermelidir.

Kaynak işlemleri için yapılan risk değerlendirmelerinde gürültüden kaynaklanabilecek riskler değerlendirirken aşağıda verilenlerin özellikle göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

-Gürültüye maruziyetin düzeyi, süresi ve türü

-Maruziyet değerleri

-Gürültünün tüm çalışanların güvenlik ve sağlığına etkileri

-İşle ilgili ototoksik maddeler ile gürültü arasındaki ve titreşim ile gürültü arasındaki etkileşimlerin, çalışanların sağlık ve güvenliğine olan etkileri

- Uyarı sinyalleri ve diğer seslerin gürültü ile etkileşiminin çalışanların sağlık ve güvenliğine olan dolaylı etkileri

- İş ekipmanlarının gürültü emisyonu hakkında imalatçılardan sağlanan bilgiler

-Gürültü emisyonunu azaltan alternatif bir iş ekipmanının bulunup bulunmadığı

-Gürültüye maruziyetin, işverenin sorumluluğundaki normal çalışma saatleri dışında da devam edip etmediği

-Sağlık gözetiminde elde edinilen güncel bilgiler

- Kulak koruyucularının bulunup bulunmadığı

Kaynak işlemleri için yapılan risk değerlendirme sonuçlarına da bakarak önleyici, sınırlandırıcı ve düzeltici tedbirler işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği önleme hiyerarşisine göre alınmalıdır. Kaynak işlemlerinde kullanılan ekipmanların düzenli bakımları yapılmalıdır. Bakım ve onarım faaliyetleri ilgili standartlarda referans alınarak program dahilinde yetkin kişilere yaptırılmalıdır. Ayrıca hava yoluyla yayılan gürültü; perdeleme, kapatma, gürültü emici örtüler ve benzeri yöntemlerle azaltılmalıdır. Yapı elemanları yoluyla iletilen gürültü ise yalıtım, sönümlenme ve benzeri yöntemlerle azaltılması gerekir. Çalışma alanında akustik fayanslar, ses bariyerleri ve yalıtım panelleri gibi malzemeler kullanarak yankıyı ve sesin yayılmasını azaltmak mümkündür. Ayrıca, gürültüyü emen malzemelerle iş yerini yeniden düzenlemek de etkili olabilir.

Daha düşük gürültü seviyesi üreten kaynak tekniklerinin benimsenmesi veya kaynak işleminin parametrelerinin (örneğin, akım veya voltaj) ayarlanması gürültüyü azaltabilir. Gürültü maruziyetini azaltmanın bir yolu, çalışanların yüksek gürültülü alanlarda geçirdikleri zamanı sınırlamaktır. Bu, iş rotasyonu, iş akışı planlaması ve gürültülü işlemler için özel zaman sınırlamaları uygulayarak yapılabilir. Robotik kaynak sistemleri gibi uzaktan kumanda teknolojileri, işçilerin gürültü kaynağına olan yakınlığını azaltabilir, böylece maruz kalma süresini ve yoğunluğunu düşürebilir. Gürültü kontrolü için kaynağında yok etme, mühendislik teknikleri, yönetimsel tedbirler ve toplu koruma imkânı olmadığında kişisel koruyucu donanımların kullanılması esastır. İşitme koruyucular çalışanların maruz kaldığı gürültü seviyesini azaltır ve işitme kaybı riskini düşürür. Kulak koruyucularının doğru kullanılması hususunda kaynak çalışanlarına eğitimler verilmelidir.

Kaynak türlerine göre bazı çözüm önerileri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

-Ark kaynak makinelerinde gürültüyü azaltmak için iç komponentlerde modifikasyonlar yapılabilir. Özellikle, güç kaynağı ve tel besleme mekanizmasında yapılan değişiklikler, işlem sırasında oluşan titreşimleri ve dolayısıyla gürültüyü azaltmada etkili olabilir.

- Yüksek üretim hacmi gerektiren bir işletme, işçilerin gürültü kaynağına maruz kalmasını azaltmak için ark kaynak işlemleri robotik sistemlerle yapılabilir.

- Gaz kaynağı, genellikle diğer yöntemlere kıyasla daha düşük gürültü seviyeleri üretir. Gaz karışım oranlarında ve akış hızlarında ayarlamalar yapılarak gürültü seviyeleri daha da düşürebilir.

- Direnç kaynağı, özellikle yüksek akım uygulandığında yüksek gürültü seviyeleri üretebilir. kaynak istasyonlarının etrafına akustik bariyerler yerleştirerek ve kaynak makinelerinin yalıtımını iyileştirerek gürültü yayılımını azaltılabilir.

- Lazer kaynağı, işlem sırasında yüksek ses seviyeleri üretebilir. Lazer kaynak makinelerine entegre egzoz sistemleri kurularak gürültü seviyeleri azaltılabilir. Bu sistemle işlem sırasında oluşan şok dalgaları ve gürültü emilerek çalışma ortamı daha sessiz hale getirilebilir.

Her teknoloji için en etkili çözümler, spesifik işlem parametreleri, kullanılan malzemeler ve çalışma ortamı koşulları göz önünde bulundurularak belirlenmelidir.

Kaynak endüstrisinde gürültü kontrolü için yeni teknolojilerin entegrasyonu yapılabilir. Bu kapsamda Aktif Gürültü Kontrolü (ANC) Teknolojileri de gürültüyü azaltma da kullanılabilir. Bu teknoloji ile gürültüyü azaltmak için giriş sesinin fazını değiştirerek "anti-ses" oluşturulur. Yeni nesil işitme koruyucularında kullanılan ANC teknolojileri, özellikle düşük frekanslı gürültülerde etkilidir. Yapay zekâ (AI) ve makine öğrenimi, kaynak işlemlerinin otomasyonunda giderek daha fazla rol oynamaktadır. Akıllı kaynak sistemleri, işlemleri gerçek zamanlı olarak izleyebilir ve gürültü seviyelerini optimize etmek için ayarlamalar yapabilir. Örneğin, akustik sensörler ve gelişmiş algoritmalar kullanarak, sistem gürültüyü azaltacak şekilde kaynak parametrelerini dinamik

olarak ayarlayabilir. Nanoteknoloji ve yeni malzeme bilimleri, daha etkili ses yalıtım malzemelerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu malzemeler, kaynak işlemlerinin gerçekleştiği alanlarda, makinelere ve güvenlik bariyerlerine entegre edilerek gürültüyü önemli ölçüde azaltabilir. Çalışanların sağlığını korumak adına, biyometrik izleme cihazları ve giyilebilir teknoloji, gürültüye maruziyetin kişisel düzeyde izlenmesi için kullanılabilir. Bu sistemler, çalışanların gürültü seviyelerine maruz kalma sürelerini izleyebilir ve güvenli sınırların aşıldığı durumlarda uyarı verebilir.

Gürültü kontrolü, iş sağlığı ve güvenliği programlarının ayrılmaz bir parçası haline gelmelidir. Çalışanlara düzenli eğitimler verilmeli, gürültü maruziyeti ve korunma yöntemleri konusunda bilinçlendirilmelidir. Ayrıca, işverenler, gürültü kontrol tedbirlerini iş pratiklerine entegre etmek için teşvik edilmelidir. Sanal Gerçeklik (VR) ve Artırılmış Gerçeklik (AR) gibi yenilikçi teknolojiler, çalışanların gürültü kontrolü eğitimlerini interaktif bir şekilde almasına olanak tanır. Bu tür uygulamalar, gerçek dünya senaryolarını simüle ederek, çalışanların potansiyel riskleri daha iyi anlamalarını ve uygun önlemleri nasıl alacaklarını öğrenmelerini sağlar.

Gürültüye bağlı olan herhangi bir işitme kaybında erken tanı konulması ve çalışanların işitme kabiliyetinin korunması amacıyla çalışanların sağlık gözetimine tabi tutulmaları önemlidir. Risk değerlendirmesi ve ölçüm sonuçlarının bir sağlık riski olduğunu gösterdiği yerlerde çalışanlar için işitme testleri yaptırılabilir.

Sonuç olarak gürültü kontrolü, sadece bireysel işçilerin sağlığını korumakla kalmayıp, daha geniş bir perspektiften bakıldığında, endüstriyel verimliliği ve iş güvenliği kültürünü geliştirmek için de hayati öneme sahiptir.

## TABLolar

- Tablo 1. Kaynak Yapılan Malzemeye Göre Kaynak Türleri  
Tablo 2. Metal Ve Kaynak İşlerinde Ortalama Gürültü Değerleri  
Tablo 3. Gürültünün İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri  
Tablo 4. Gürültü Seviyesi İle Sağlık Etkileri

## KAYNAKLAR

- [1] Ashby HS. (2002), Welding fume in the workplace. *Professional Safety*, Apr 1;47(4):55-63.
- [2] Ayan, İ. B. (2010), Kaynaklı İmalat Yapan İşletmelerde Uluslararası Sertifikasyon Sistemleri, (Yüksek Lisans Tezi), İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi İşletme Anabilim Dalı Üretim Yönetimi ve Endüstri İşletmeciliği Programı.
- [3] Kahraman, N., Gülenç, B. (2013), Modern Kaynak Teknolojisi, Ankara: Epa-Mat Yayıncılık.
- [4] United States Environmental Protection Agency (2023), Guidelines for Carcinogen Risk Assessment US Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/630/P-03/001F.
- [5] Sezginer, S. (2014), Kişisel Koruyucu Donanımların Doğru Seçimi, Doğru Kullanılması ve Kişisel Koruyucu Malzemelerin Taşınması Gereken Özellikleri. *Mühendis ve Makina*, 55[655], 57-69.
- [6] Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik (2013), Resmî Gazete Sayısı: 28721.
- [7] Turan, A. (2015). Kaynak İşlerinde İş Güvenliği. IX. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisi, Ankara, 411-422.
- [8] Tadesse, S., Bezabih, K., Destaw, B., and Yalemzewod, A. (2016), Awareness of occupational hazards and associated factors among welders in Lideta Sub-City, Addis Ababa, Ethiopia. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 11(15), 1-6.
- [9] Joseph, N., Venkatesh, V., Akash S. K., Hegde, S., Moras, E., and Shenoy N. P. (2017). Occupation Hazards – Pattern, Awareness and Preventive Measures among Welders from an Unorganized Sector in India. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 11(5), 23-28.
- [10] Amani, F., Bahadoram, M., Hazrati, S., (2017). Evaluation of occupational injuries among welders in Northeast Iran, *Journal of Preventive Epidemiology* 2 (2).
- [11] Gebrezgiabher B., Tetemke, D., Yetum, T. (2019). Awareness of Occupational Hazards and Utilization of Safety Measures among Welders in Aksum and Adwa Towns, Tigray Region, Ethiopia , *Journal of Environmental and Public Health*, 1-7.
- [12] Kahraman, N., Gülenç, B. (2020). Modern Kaynak Teknolojisi ve Kaynak İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği. (Genişletilmiş Dördüncü Baskı). Ankara: Epa-Mat Basım Yayın Ltd.Şti., 321-341.
- [13] Beskopylny A., Chukarin A., Meskhi B., Isaev A. (2020). Spectral characteristics of noise during hardening of welds of rod structures, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 709, Issue 4.
- [14] Baek, S.-Y., Nam, J.-H. (2021). Physical welding factors for reclassified welding positions in shipbuilding assembly process based on muscle activity measured by surface electromyography, *J. Mar. Sci. Eng.* 9 (11).
- [15] Türk Standartları Enstitüsü. (2009). Akustik çalışma ortamında maruz kalınan gürültünün belirlenmesi – Mühendislik Yöntemi, Ankara, TS EN ISO 9612:2009.
- [16] Meslek Hastalıkları ve İş ile İlgili Hastalıklar Tanı Rehberi, Gürültüye Bağlı İşitme Kaybı, Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, İSGİP (Türkiye’de İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Koşullarının İyileştirilmesi Projesi - TR0702.20-01/001).
- [17] Erdoğan H. (2023) İş Sağlığı ve Güvenliği Sınavlarına Hazırlık Kitabı, ISBN: 978-625-99251-0-3.
- [18] Çalışma Yaşamında Gürültü İle Mücadele Rehberi, Gürültünün İnsan Sağlığına Olumsuz Etkileri, Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü.



# POLİMER MATRİKS KOMPOZİT FİLAMENT ÜRETİMİ VE KATMANLI İMALAT UYGULAMALARI

*Özgür Uyar*

GSI SLV-TR, 06520, Çankaya/Ankara/TURKEY  
ozgur.uyar@gsi.com.tr

## Özet

Polimer matrisli kompozit malzemeler günümüzde enjeksiyonlu kalıplama, basınçlı kalıplama veya otoklav gibi yöntemlerle üretilmektedir. Bu makale, katkı maddesi ile üretilmiş polimer matrisli filamentlerin üretimi; elde edilen modellerin özelliklerini ve mekanik davranışını incelemektedir. Erimiş filament üretimi yöntemi, mikro veya nano parçacık eklenmiş polimer matrisli filamentlerle uygulanacaktır. Ayrıca bu çalışmada, katkı maddesinin oranına göre filament kalitesi, basım kalitesi ve gözeneklilik durumu incelenecektir.

**Anahtar kelimeler:** Katmanlı imalat yöntemleri, polimer matrisli kompozitler, filament üretimi

## Abstract

Polymer matrix composite materials are today produced by methods such as injection molding, pressure molding or autoclave. This article covers the production of additively produced polymer matrix filaments; It examines the properties and mechanical behavior of the models obtained by using The fused filament production method will be applied with polymer matrix filaments with added micro or nano particles. In addition, in this study, filament quality, printing quality and porosity will be examined according to the ratio of the additive.

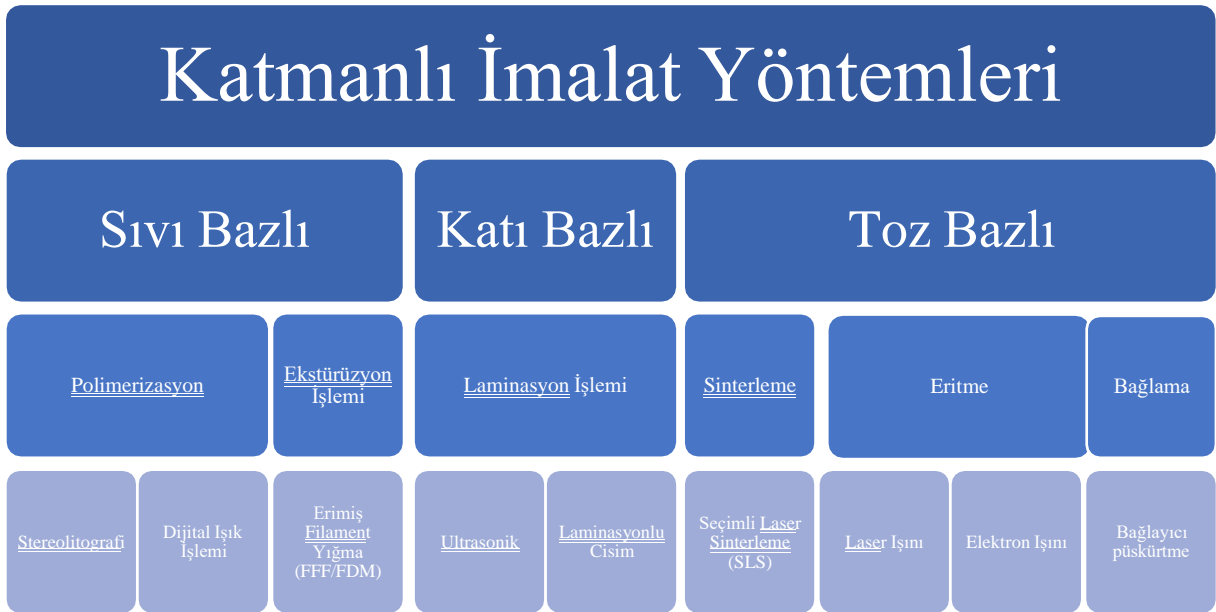
**Keywords:** Additive manufacturing methods, polymer matrix composites, filament production

## 1. Giriş

### 1.1 Katmanlı İmalat Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Katmanlı imalat, üç boyutlu modellerden neredeyse net şekilli ürünler oluşturan bir üretim tekniğidir. Geleneksel üretim yöntemleri olan döküm, kalıplama ve ekstrüzyona göre daha yavaş olmasına rağmen, özellikle karmaşık tasarımların imalatında tercih edilmektedir. Metal, polimer, kompozit malzemeler ve seramikler gibi birçok farklı malzeme eklemeli imalatla işlenebilir. Genellikle hammadde, toz veya filaman şeklinde bulunur ve malzemeye bağlı olarak üretim maliyetleri değişebilir. Örneğin, metalik malzemelerin üretimi genellikle diğer malzemelere göre daha maliyetlidir çünkü eritme, sinterleme veya alt katmana veya katmanlara püskürtme gibi işlemler için daha fazla enerji kullanılır.

Katmanlı üretim teknolojileri, bağlayıcı püskürtme, stereolitografi, elektron ışınıyla eritme, seçici lazer sinterleme ve eritme biriktirme modelleme (FDM) gibi farklı teknolojilere ayrılabilir. Plastikler, metaller, seramikler ve kompozitler, teknolojiye bağlı olarak katmanlı imalatla kullanılabilen malzemelerin sadece birkaç örneğidir. Ancak katmanlı imalatla kullanılabilir malzemelerin temini hala sınırlıdır. Bu eksikliği gidermek amacıyla araştırmacılar, yukarıda belirtilen özellikleri elde etmek için yeni malzemelerin hazırlanması ve işlenmesi konusunda çalışmaktadır. Bu yeni malzemelerin özellikleri arasında mekanik dayanıklılık, elektriksel iletkenlik, termal dayanıklılık gibi belirli özellikler bulunabilir [1].



Şekil 1: Katmanlı imalat yöntemlerinin ısı kaynaklarına göre sınıflandırılması.

### 2.1 Erimiş Filament Katmanlı İmalat Yöntemi

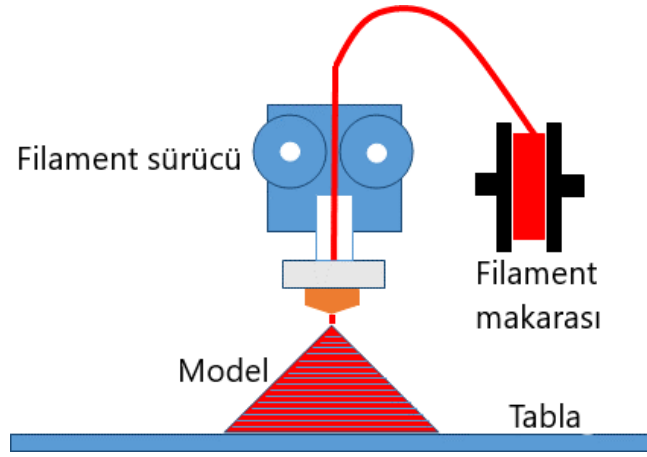
Erimiş biriktirme modelleme (FDM) veya kaynaşmış filaman fabrikasyonu (FFF) yöntemi, doğrudan CAD modelinden neredeyse net şekil üreten bir katmanlı üretim yöntemidir. Metalik tozun polimerik bir matris içinde ekstrüzyonu yoluyla gerçekleştirilen eklemeli üretim (AM), karmaşık metalik modellerin üretimini sağlama potansiyeline sahiptir. Metallerin kaynaşmış filaman üretimi, malzemeden tasarruf sağlar ve maliyeti düşürür [2].

Seçici Lazer Sinterleme (SLS), FDM yöntemine alternatif bir eklemeli imalat yöntemidir. Ancak SLS yönteminde ısı kaynağı olarak yüksek enerjili lazer kullanılır, bu nedenle süreçlerin maliyeti FDM'den daha yüksektir [3].

En yaygın AM tekniklerinden biri FFF'dir. Tipik olarak termoplastikler ve bunların kompozitleri, parça imalatında filament malzemeleri olarak kullanılır. Bileşen özelliklerini iyileştirmek ~~geliştirmek~~ amacıyla araştırmacılar tarafından yeni filament malzemeleri hala geliştirilmektedir. FFF ile üretilen parçalar, çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır, bununla birlikte özelliklerinin iyileştirilmesi için sürekli olarak fırsatlar araştırılmaktadır.

Günümüzde havacılık, otomotiv, biyomekanik mühendislik gibi çeşitli endüstrilerde katmanlı üretim teknikleri (AM) kaçınılmaz bir şekilde kullanılmaktadır. Son yıllarda tıbbi endüstri, AM tekniklerini kullanma fırsatları konusunda büyük bir potansiyel görmektedir. Her hastanın özel implantlara, aletlere (örneğin, delme kılavuzları), destekleyici kılavuzlara ve protezlere ihtiyacı olduğundan, tıbbi endüstrisinde özelleştirilmiş ürünlerin talebi yüksektir. AM süreçleri, uygun maliyetli bir şekilde yüksek hassasiyet ve doğrulukla özelleştirilmiş ürünler oluşturmak için etkilidir.

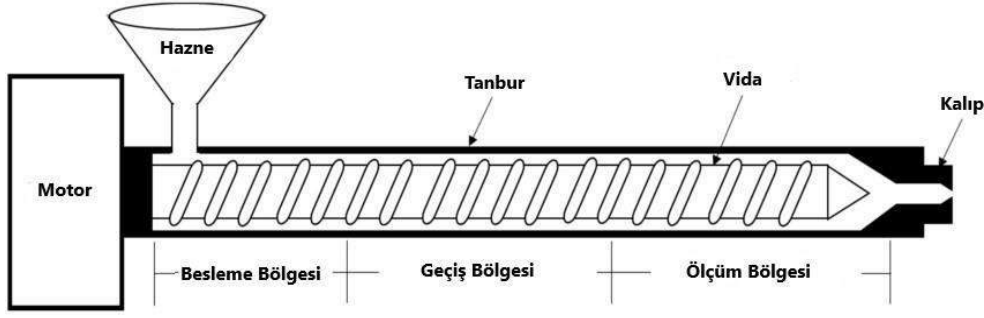
Katmanlı üretimin tıp sektöründeki uygulamaları arasında doku mühendisliği, protezler, implantlar, tıbbi cihazlara yönelik araçlar ve ekipmanlar ve tıbbi modeller yer almaktadır. Genellikle hastanın anatomisi, bilgisayarlı tomografi (BT) veya diğer 3D görüntüleme tarama yöntemleri kullanılarak elde edilir [4].



Şekil 2: Erimiş Filament Üretim Yönteminin Şematik Gösterimi [4].

## 2.2 Saf Filament ile Üretim

FDM işlemi için filament olarak çok sayıda termoplastik malzeme mevcuttur. Termoplastiklerden ve kompozitlerden filamanların imalatı, filaman ekstruderleri ile gerçekleştirilir. Şekil 2 tipik bir filaman ekstruderini göstermektedir. Hammaddeler (termoplastikler ve kompozitler), filament oluşturma işlemi için granül veya pelet formundaki bir hazne aracılığıyla tambura beslenir. Dönen vida(lar) için namlu, mahfaza görevi görür. Tamburda hammaddeler de ısıtılır. Besleme, geçiş ve ölçüm bölgeleri namlunun üç bölgesini oluşturur [5]. Ham maddeler geçiş bölgesinde plastikleşir, besleme bölgesinde yumuşar ve geçiş bölgesinde tamamen erir. Girdi malzemeleri çeşitli bölgelerdeki sıcaklıkları belirlemek için kullanılır. Dönen vidanın yüzeyi sayesinde girdi malzemeleri besleme bölgesinden geçiş bölgesine, ardından ölçüm bölgesine hareket eder. Tambur içinde bir veya iki vida olabilir. Eriyen hammaddeler ölçüm bölgesinden bir kalıp aracılığıyla ekstrüzyonla çıkarılır. Gerekli filaman çaplarına göre kalıbın çapı seçilir. 1,75 mm çapında filamentler için genellikle 2,5 ila 3,5 mm çapında pirinç kalıp kullanılır.



Şekil 3: Erimiş Filament Fabrikasyon Eksturuderinin şematik gösterimi [5].

Akrilikonitril bütadien stiren (ABS) ve polilaktik asit (PLA), FFF yöntemi için en popüler ve sıklıkla kullanılan filament malzemeleridir [6]. Her iki malzemenin de güçlü ve zayıf yönleri vardır. ABS'nin yüksek sıcaklıklarda erimesi nedeniyle zehirli dumanlar çıkardığı, soğudukça büyük ölçüde küçüldüğü ve çevre dostu olmadığı bilinmektedir. Ancak PLA biyolojik olarak parçalanabilir olarak kabul edilir ve yüksek kırılma dayanıklılığına, düşük mekanik özelliklere ve düşük ısı direncine sahiptir. Kullanışlı 3D baskılı parçalar oluşturmak için birçok termoplastik filament kullanılır. Buna göre, ilgi konusu uygulamaya bağlı olarak bu termoplastik filamentlerin, kimyasal direnç, biyouyumluluk, ısı direnci, esneklik ve dayanıklılık dahil olmak üzere çeşitli niteliklere sahip olması gerekir. Bunları tanımlı bir FFF işleminde kullanmadan önce, bazı saf termoplastik filamentlerin sahip olduğu belirli bir özelliğin farkında olmak faydalı olabilir. FFF filamentleri olarak kullanılan saf termoplastiklerin çoğunluğu ticari olarak kolaylıkla temin edilebilir ve bunların kısa açıklamaları aşağıda yer almaktadır:

Akrilikonitril bütadien stiren (ABS): Amorf bir polimer olan ABS'nin doğal olarak bozunacağı düşünülmesi de, güçlü darbe direnci, aşınma direnci ve kimyasal direnç gibi faydalı nitelikleri nedeniyle değerlidir. ABS'nin sertliği başka bir avantajdır. ABS'nin hem parça oluşturma sırasında hem de sonrasında bükmeye ve bükülme gibi önemli dezavantajları da vardır [7, 8]. ABS tipik olarak 200–250 °C arasında bir erime noktasına sahiptir. Kimyasal hassasiyeti olanlar veya solunum sorunları olanlar ABS'nin ürettiği zehirli buharlardan zarar görebilirler [9]. Otomotiv, tıp ve havacılık endüstrilerinde ABS filament ile üretim yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [10].

Polilaktik asit (PLA): PLA, biyolojik olarak parçalanabilirliği ile bilinen ancak aynı zamanda 60 °C'nin üzerindeki neme duyarlılığıyla da bilinen diğer bir yaygın termoplastiktir. PLA yapı parçalarının baskı sırasında ABS'ye göre daha düşük çarpılmaya maruz kaldığı sıklıkla rapor edilir, ancak düşük termal iletkenliğe ve tokluğa sahiptir [10]. PLA yapı parçaları tipik olarak belirli derecede estetik özellikler gerektiren pratik uygulamalar için kullanılır [11].

Polikarbonat (PC): Bu şeffaf malzeme, yüksek cam geçiş sıcaklığı, sağlam mekanik özellikleri ve şeffaflığıyla ünlüdür. ABS gibi onlar da şekilsizdir. Polikarbonatlar yüksek baskı sıcaklıklarına sahip olsalar ve neme karşı hassas olsalar da o kadar dayanıklı değildir. Otomobil ve havacılık endüstrilerinde prototip yapımına uygun olduğu için PC'leri kullanmışlardır [12].

### 2.3 Kompozit Filament ile Üretim

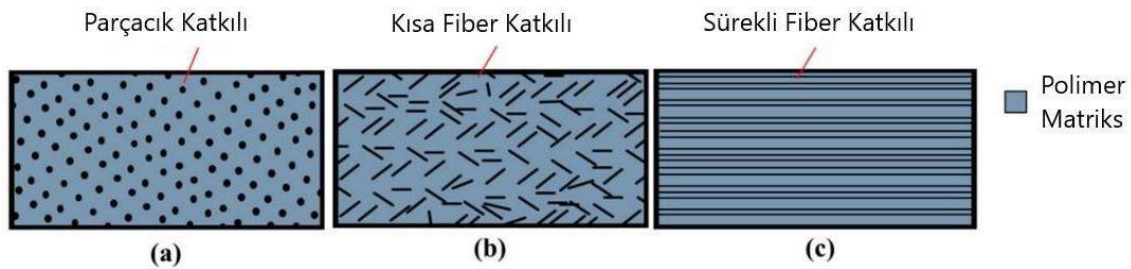
Şu anda kullanılan saf termoplastik filamentler, FFF yapım parçalarının artırılmış performansını karşılamada düşük dayanıklılık ve sertlik gibi dezavantajlara sahiptir. Yüksek sıcaklıklar termoplastikleri yumuşatır ve özelliklerini kaybetmelerine neden olur. Birçok durumda, termoplastik filamentlerden üretilen bir ürün, belirli bir dizi işlevsel özellikleri karşılamakta yetersiz olabilir. Enjeksiyon kalıplı bileşenlerin özellikleri ile karşılaştırıldığında, FFF ile üretilen parçaların özellikleri genellikle yetersizdir [13]. Uygulama alanlarına bağlı olarak, kompakt, dayanıklı ve mükemmel yüzey kalitesine sahip FFF filament malzemeleri her zaman aranmaktadır. Bu gereksinimleri karşılamak için kompozit malzemeler iyi bir çözüm olarak düşünülmektedir. Bir FFF yapım parçasının istenen özelliklerini elde etmek için saf termoplastiklere bir dizi takviye uygulanabilir. Ayrıca, kompozit malzemelerin benimsenmesi, yeni ve çevre dostu malzemelere olan ihtiyacın bir sonucudur. Saf polimerlere kıyasla, kompozit malzemelerin daha iyi özelliklere sahip olduğu bildirilmiştir. FFF makinesi için

gereken filamentler belirli bir şekle, süneklığe ve diğere niteliklere sahip olmalıdır. FFF kompozit filament için malzeme seçimi, FFF yöntemiyle parça üretimi sırasında nozul tıkanıklığı ve filament kırılması olasılığı nedeniyle zordur [14]. Ayrıca, kompozit malzemeler, kullanım ömürleri sona erdikten sonra heterojen kompozisyonları nedeniyle geri dönüşümü zor olan malzemelerdir. Kompozit filamentler için takviye ve/veya matris kompozisyonu seçerken, karbon ayak izi gibi çevresel sonuçlar göz önünde bulundurulmalıdır. Biyobazlı ve biyobozunur takviye ve matrislerin karbon ayak izi genellikle kullanım ömürlerinin sonuna yaklaştığında azalır. Şekil 4'te görüldüğü gibi, kompozitler için filament olarak birçok çeşitli takviye malzemesi ve şekli kullanılmaktadır. Takviye şekillerine dayalı olarak, FFF filamentler için kompozit malzemeler bu alanda segmentlere ayrılır.

3D baskı için polimer matris kompozit filament üretmenin filamentin kalitesi ve mekanik özellikleri üzerindeki olumsuz etkileri şunlar olabilir:

1. Zayıf Basılabilirlik: Polimer matrisine dolgu maddeleri ve takviyeler eklemek, 3D baskı süreci sırasında tıkanma veya nozul tıkanıklığına neden olarak zayıf basılabilirliğe yol açabilir.
2. Azalan Dayanıklılık: Dolgu maddeleri ve takviyelerin eklenmesi, basılmış nesnenin dayanıklılığını ve sertliğini azaltabilir, çünkü polimer matris ile dolgu maddeleri arasındaki bağ zayıftır.
3. Azalan Esneklik: Dolgu maddeleri ve takviyelerin eklenmesi, basılmış nesnenin esnekliğini azaltabilir, onu daha kırılğan ve stres altında çatlamaya veya kırılmaya daha yatkın hale getirebilir.
4. Kötü Yüzey İşleme: Dolgu maddeleri ve takviyelerin bulunması, basılmış nesnenin yüzeyinde pürüzlü bir yüzey işlemesine neden olabilir, bu da istenen düzlüğe ulaşmak için ek işleme adımlarını gerektirebilir.
5. Tutarsız Özellikler: Polimer matris kompozit filamentlerin özellikleri üretim sürecine oldukça bağlı olabilir, bu da filamentin farklı partileri arasında tutarsız özelliklere neden olabilir. Bu, son baskı nesnesinin kalitesi ve mekanik özelliklerinde değişikliklere yol açabilir.

Bu olumsuz etkiler, 3D baskı nesnesinin genel kalitesini ve mekanik özelliklerini etkileyebilir, onu belirli uygulamalar için daha az uygun hale getirebilir veya istenen özelliklere ulaşmak için ek işleme adımlarını gerektirebilir.



Şekil 4: Kompozit filamentlerde farklı takviye malzemeleri kullanılır: (a) Partikül takviyesi, (b) kısa elyaf takviyesi ve (c) sürekli elyaf takviyesi kompozitler. [15].

### 2.3.1 Parçacık Katkılı Kompozit Filament ile Üretim

Takviye malzemeleri bir polimer matrisle birleştirilir ve ardından FDM filamentleri oluşturmak için ekstrüde edilir, böylece partikül kompozit filamentler oluşturulur. Partikül kompozitlerin özelliklerini etkileyen faktörler,

partiküllerin boyutu, şekli, yönelimi, hacim yüzdesi ve polimer matris ile partiküller arasındaki arayüzlerdir. Filamentlerin kırılabilirliği ve büyük partikül boyutu nedeniyle, FDM işlemi genellikle iki tipik teknik sorunla karşılaşır: filament kırılması ve nozul tıkanıklığı. Partikül kompozit filamentler oluştururken veya kullanırken çeşitli teknik sorunlar göz önüne alınmalıdır. Teknik endişelerin yanı sıra, partikül boyutunun, partikül hacim yüzdesinin ve işlem faktörlerinin parça kalitesi üzerindeki etkileri de önemli olabilir. Bir kompozit malzemenin seçimi, hem üretim potansiyeline hem de bileşen özelliklerine dayanır. Partikül kompozit filamentlerin, FFF işleminde yaygın kullanımını garanti etmek için ek donanım ve yazılım değişikliği olmaksızın geleneksel FDM makinelerine entegre edilebilme yeteneği gereklidir [16].

### 2.3.2 Kısa Fiber Katkılı Kompozit Filament ile Üretim

Kısa fiber kompozit filamentler oluşturulmadan önce, matris kısa elyaf ile birleştirilir. Kısa elyaf kompozitlerin elyafları matris üzerine eşit olarak dağılmıştır. Karışık malzeme (örneğin, granüller gibi) tek bir vida veya çift vida ekstrüderi kullanılarak filament oluşturmak için kullanılır. Deneysel bir incelemenin sonuçlarına göre, kompozit yapılmış parçaların gerilme modülü, sertlik, Poisson oranı ve paylaşım modülü önemli ölçüde daha yüksektir. Ancak gerilme dayanımı ve kayma dayanımı önemli ölçüde değişmemiştir. Bu, PLA ve karbon elyaf arasında yetersiz yapışma olduğunu ve yük uygulandığında matris malzemesi tarafından sürdürülen gerilimin yetersiz olduğunu göstermektedir. PLA- Karbon fiber (CF) kompozitlerin mekanik özellikleri, katman kalınlığı ve doluluk yoğunluğu gibi yapılmış yöntemi ve süreç parametrelerinden önemli ölçüde etkilendiği gösterilmiştir [17].

### 2.3.3 Sürekli Fiber Katkılı Kompozit Filament ile Üretim

Şekil 4.c'de sürekli fiber kompozitlerde fiberlerin tipik olarak nasıl hizalandığını göstermektedir. Partikül ve kısa fiber/elyaf kompozitlerin filamentlerinin üretimi sırasında takviye malzemeleri ve polimer matrisi bir araya getirilir. Ayrıca, filamentler, FDM yöntemi içinde tek bir vida ekstrüder dahil olmak üzere çeşitli araçlar kullanılarak karışımdan oluşturulur. Ancak sürekli elyaf kompozit filamentler için FDM tekniği, matris polimerini ve elyafları yerleştirmek için iki ayrı makara kullanır. Li ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada, sürekli karbon elyafın FFF ile üretilmiş PLA parçalarının gerilme dayanımı ve eğilme dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel bir çalışmaya göre, kompozit yapılmış parçaların gerilme dayanımı ve eğilme dayanımı, saf PLA yapılmış parçalarınkine göre sırasıyla %185 ve %11 daha yüksektir. PLA ile karbon elyaf arasında yetersiz yapışma olduğundan, eğilme dayanımının önemli ölçüde değişmediği söylenebilir. PLA ve karbon elyaf arasındaki yapışmayı artırmak ve bunun sonucunda eğilme dayanımını artırmak için karbon elyaf yüzeyi, metilen diklorür çözeltisi, PLA partikülleri ve deiyonize su kullanılarak değiştirilmiştir [18].

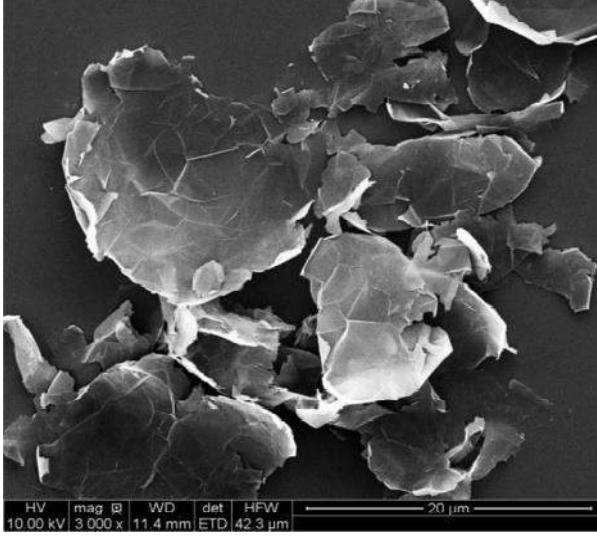
## 2.4 Kompozit Filament Uygulama Alanları

Kompozit filamentler katkı maddelerinin boyutlarına göre mikrokompozitler ve nanokompozitler olarak ikiye ayrılır.

### 2.4.1 Nanokompozit Filament Uygulama Alanları

Nanokompozit malzeme mükemmel termal, elektriksel, fiziksel ve mekanik özellikler sunar. Matris malzemesi 100 nm'den küçük parçacıklar içermelidir. Bu parçacık nanomalzemeler olarak adlandırılmıştır. Nano malzemeler nanokil, karbon nanotüpler (CNT), karbon fiberler, metal oksitler, grafen nanoplateletler (GNP'ler) olabilir. Öte yandan sağlam yapı elde etmek için matris ile nanopartikül malzeme arasındaki arayüz önemlidir. Takviye-matris etkileşimini arttırmak için nanopartiküllere ön işlem uygulanır. Polimer nanokompozitler, polimerik malzemelere göre daha başarılı özelliklere sahiptir. Polimer nanokompozitler nispeten düşük bir stres seviyesinde büyük deformasyona uğrama yeteneğine sahiptir. Termal iletkenliği optimize ederek malzemenin termal özelliklerini geliştirebilirler. Polimerik matrisin varlığı nedeniyle genellikle metalik malzemelere göre daha hafiftirler. Ayrıca nanokompozit ilavesi, yüksek özgül sertlik ve mukavemet sayesinde malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirir, çünkü nanomalzemenin varlığı polimerik matrisin zincir hareketliliğini engeller [19].





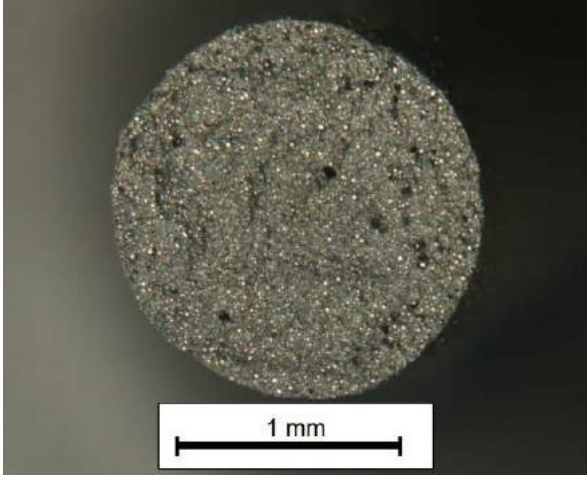
Şekil 5: Grafen nanoplateletlerin (GNP'ler) SEM görüntüleri [20].

#### 2.4.1.1 Nanokompozit Yapı Üretim Yöntemler

Nanokompozit malzemelerin işlenmesi için bir yöntem olarak seçici lazer eritme (SLM) verilebilir. Isı kaynağı olarak lazer enerjisi kullanılmaktadır. Bu toz bazlı bir yöntemdir. Kompozit hammadde toz halinde olmalıdır. Bu yöntemde hava kirliliğini önlemek için bir üretim odasına ihtiyaç vardır. Dolayısıyla operasyon gazlar arası atmosfer altında gerçekleştirilir ve bu yöntem diğer eklemeli imalat işlemlerine göre nispeten pahalı olabilir. Öte yandan Erimiş Filament İmalatı yöntemleri nanokompozit yapının imalatı için uygun bir adaydır. Isı kaynağı olarak farklı formdaki SLM tekniğinde elektrik enerjisi ve ısı enerjisi kullanılmakta; Toz halindeki hammadde malzemesi yerine filament formundaki nanokompozit malzemeler kullanılabilir. Bu yöntemler hazne gerektirmez, atmosfer altında işlem yapılabilir. Bu nedenle nanokompozit modellerin üretiminde FFF yöntemleri tercih edilebilir [21].

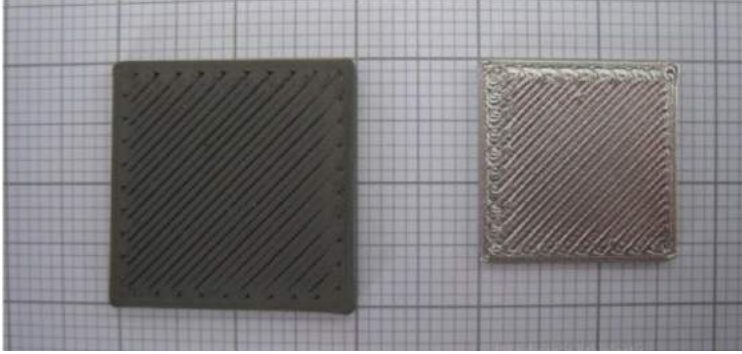
#### 2.4.2 Mikrokompozit Filament Uygulama Alanları

Nanokompozit filamentlere benzer şekilde mikrokompozit malzemeden yapılmış filamentler de daha yüksek mekanik özellik (basma, çekme dayancı) sağlamak adına kullanılmaktadır. Mikrokompozit filamentlerde kullanılan katkı maddelerinin boyutları genellikle 30-80 µm arasında değişmektedir. Parçacık boyutunun belirtilen aralığın üzerine çıkması, katkı maddelerinin polimer matriks içerisinde homojen dağılmamasına, kompozit filament üretimi sırasında daha fazla oranda gözenek oluşmasına ve filamentin işlenebilirlik yeteneğinin azalmasına sebep olmaktadır.



**Şekil 6:** 17-4PH paslanmaz çelik parçacıkları takviyeli bir filamentin kesit görünümü [22].

Mikro parçacık katkılı kompozit filamentlerin bir diğer uygulama alanı ise düşük maliyetli metalik veya seramik parça üretimidir. Bunun için kompozit filament üretimi sırasında matris malzemesi olan polimer ile birlikte bağlayıcı malzemeler de kullanılır. Hazırlanan bu kompozit filament, FDM yöntemi kullanılarak işlenir ve üç boyutlu model elde edilir. Ardından özel bir çözücü veya ısı yardımı ile polimer malzemenin yapıdan uzaklaştırılması sağlanır. Bağlayıcı malzeme ile birbirine bağlanan parçacıklar sinterleme işleminin yardımıyla birbiri ile bağ kurar. Sinterlenen parçacıklardan dolayı üç boyutlu yapının boyutu küçülecektir fakat neredeyse tam dolulukta yakın bir katı model elde edilir. Bu yöntemin en büyük kısıtlarından biri filamente eklenen parçacık hacminin % 50-60 civarına ulaşma zorunludur. Hacimce belirtilen miktarda parçacık ilaveli kompozit filament ile üretim yapılamazsa sinterleme işleminde parçacıkların yüzeylerinin yeterli temas alanı oluşmamasından ötürü beklenen verim alınamayacaktır [22].



**Şekil 7:** yöntemi ile üretilmiş ve üretim sonrası sinterlenmiş parçaların boyutlarının kıyaslanması [22].

### 3.1 Metal Parçacık Katkılı Polimer Matris Kompozitlerin Katmanlı İmalatı ve Karakterizasyonu

#### 3.1.1 Başlangıç Malzemeleri

Bu çalışmada filament olarak iki ana polimerik malzeme kullanıldı. Birincisi Polilaktik asit (PLA), ikincisi ise Polipropilen (PP). 1.75mm çapında Filament tercih edildi. Polimer matris parçacıklı kompozit filaman için takviye malzemeleri, gaz atomize edilmiş saf Fe tozlarıydı. Tozların parçacık boyutu

dağılımı Malvern Mastersizer 2000 modülü kullanılarak belirlendi. Metalik toz tozlarının parçacık boyutu aralığının 0.020 ile 2000.000 µm arasında değiştiği ve hacim ağırlıklı ortalama parçacık boyutunun kabaca 93.217 µm olduğu rapor edilmiştir.

### 3.1.2 Kompozit Filament Üretimi

FDM yöntemleri için kompozit filament üretimi iki adımdan oluşur. İlk adım kompozit pelet üretmektir. İkinci adım ise belirli çapta kompozit filamentler üretmektir. Bu çalışma iki farklı polimer matrisli partikül takviye filamentini üretmeyi amaçlamaktadır. Kompozit filamentlerden biri PP bazlı, diğeri ise PLA bazlıdır. Termoplastik poliüretan, kompozit filamanın plastik davranışını ve basılabilirliğini geliştirmek için plastikleştirici olarak kullanılır çünkü takviye malzemesi eklenmesi filamanın mekanik özelliklerini ve basılabilirliğini bozar. Plastikleştiriciler, kompozit filamentlerin esnekliğini artırarak onları belirli bir derecede esneklik veya bükülebilirlik gerektiren uygulamalar için daha uygun hale getirebilir. Plastikleştiriciler, 3D baskı işlemi sırasında tıkanma veya meme tıkanması riskini azaltarak kompozit filamentlerin basılabilirliğini artırabilir. Bu çalışmada plastikleştirici malzeme olarak Termoplastik Poliüretan (TPU) kullanılmıştır.

Ayrıca kompozit filament üretimindeki bir diğer kritik sorun da mukavemetin azalmasıdır. Dolgu maddelerinin ve takviyelerin eklenmesi, polimer matris ile dolgu maddeleri arasındaki zayıf bağ nedeniyle basılı nesnenin sağlığını ve sertliğini de azaltabilir. Yüzey aktif maddeler ayrıca kompozit filamanlarda polimer matris ile dolgu maddeleri arasındaki bağı da geliştirebilir. Yüzey aktif maddeler, iki malzeme arasındaki arayüzey gerilimini azaltabilen, uyumluluklarını artıran ve bağlanmayı destekleyen bileşiklerdir. Bu nedenle yüzey aktif madde olarak Stearik asit kullanılır.

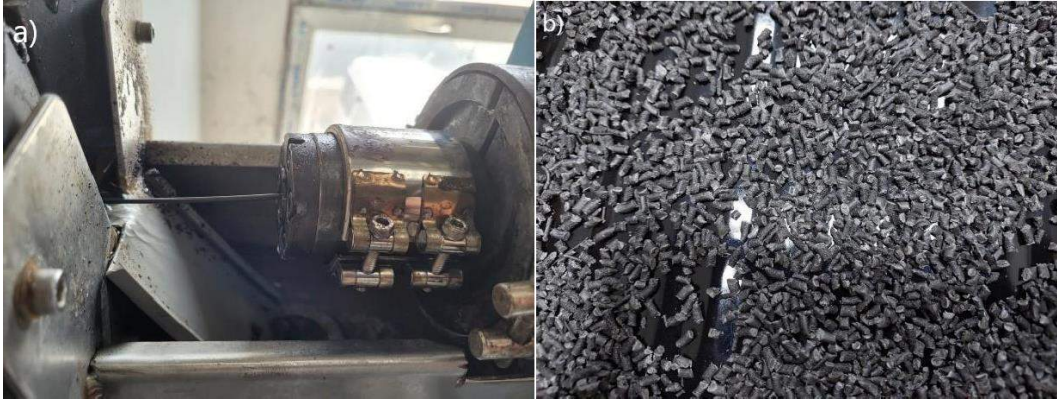
**Tablo 1.** İlk partideki bileşenin miktarı, hacmi ve kütle yüzdesi.

	<b>Fe</b>	<b>PP</b>	<b>TPU</b>	<b>Stearik asit</b>
<b>Kütle (g)</b>	228	52.0	10.0	1.00
<b>Kütle oranı (%)</b>	78.4	17.8	3.44	0.35
<b>Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)</b>	7.86	0.94	1.18	0.94
<b>Hacim (cm<sup>3</sup>)</b>	29.0	55.3	8.50	1.10
<b>Hacim oranı (%)</b>	30.8	58.8	9.05	1.17



**Şekil 8.** Kompozit Filament Üretim Düzeneği

Kompozit bir karışım oluşturmak için çift vidalı ekstrüderler kullanılır. Sıcak karışım yaklaşık 190 °C sıcaklıkta elde edilir. Kompozit karışımın oda sıcaklığına soğuması için su kullanılır. Oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra granül formda bir kompozit karışım elde edilir.



**Şekil 9.** Kompozit karışımın suyla soğutulması (a), kompozit karışımın granül formu (b).

PP bazlı kompozit harman ile iki tip kompozit filament üretilmektedir. İlk filaman yaklaşık % 30.80 hacme metal tozu içerir ve ikinci filamentte yaklaşık % 5 metalik toz bulunur.

**Tablo 2.** İkinci partideki bileşenin miktarı, hacmi ve kütle yüzdesi.

	<b>Fe</b>	<b>PP/PLA</b>	<b>TPU</b>	<b>Stearik asit</b>
<b>Kütle (g)</b>	998.22	2183.93	144.00	9.30
<b>Kütle oranı (%)</b>	29.92	65.47	4.31	0.27
<b>Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)</b>	7.86	0.94	1.18	0.94
<b>Hacim (cm<sup>3</sup>)</b>	127.00	2323.33	80.00	9.90
<b>Hacim oranı (%)</b>	5.00	91.74	3.14	0.34

### 3.1.3 Erimiş Filament Katmanlı İmalat Yönteminde Kullanılan Parametreler

Bu çalışmada FDM işlemi için 1,75 mm çapında kompozit PLA ve PP bazlı filament kullanılmıştır.

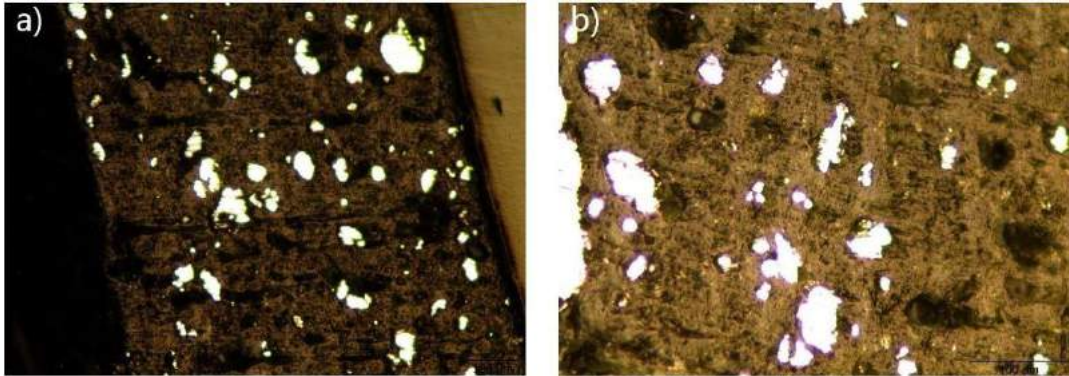
**Tablo 0** Kompozit PP/PLA işleme için deneysel kurulum.

Üretim Parametreleri	Üretim Parametre Değerleri
Katman kalınlığı	0,2 mm
Doluluk	100%
Tabla sıcaklığı	60 °C
Nozül Sıcaklığı	205 °C
Üretim hızı	50 mm/s

### 3.2 Erimiş Filament Katmanlı İmalat Yöntemi ile Üretilen Yapıların Metalografik

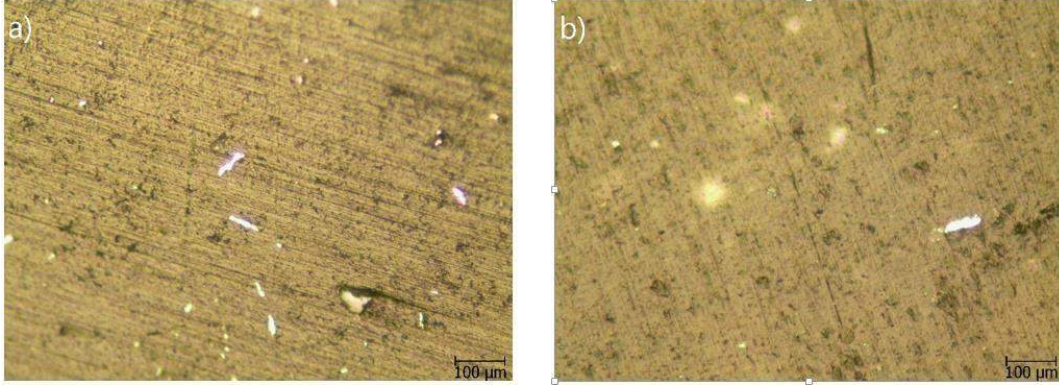
Toz parçacıkları, hammadde filamanlarının ayırt edici bir özelliği olan filaman boyunca eşit şekilde dağıtılmalı ve yayılmalıdır.

Şekil 10'da bir filamanın kesitsel kesimi, metal parçacıklarının % 30.80 metal içeren filaman boyunca eşit şekilde dağıldığını açıkça ortaya koymaktadır; %5 metal içeren filamentler için benzer bir toz dağılımı Şekil 11 ve 12'de görülmüştür. Doğru baskı işlemlerinin doğru ilerlemesi için yeterli partikül dağılımı ve dağılımının mevcut olması gerekir. Şekil 10'de filament üzerinde küçük boşluk ve gözeneklilik görülmektedir. Bu delikler her ne kadar istenmeyen bir durum olsa da filamentlerin sayısı az ve küçükse yine de baskı yapılabilir.

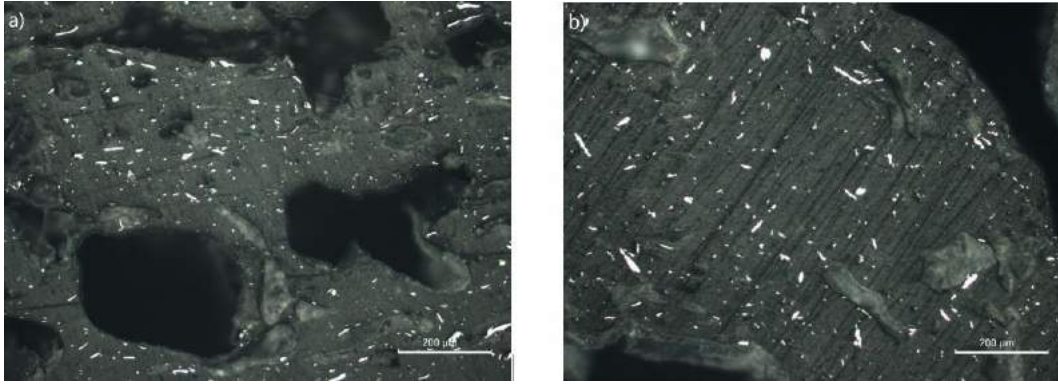


**Şekil 10.** %30,80 demir parçacıklarıyla dolu PP matrisli kompozit filamentin (yatay, b dikey kesit) kesit görünümü.





**Şekil 11.** %5 demir parçacıklarıyla doldurulmuş bir PP matrisli kompozit filamanın (a yatay, b dikey kesit) kesit görünümü.



**Şekil 12.** %5 demir parçacıklarıyla doldurulmuş bir PP matrisli kompozit filamanın (a yatay, b dikey kesit) kesit görünümü.

### 3.3 Sonuç

Bu çalışmada PP ve PLA malzemere metal tozu takviyesi ile kompozit filament üretilmiştir. Kompozit filamentlerin metalografik muayenesine göre % 30.80 hacimce metal katkısı içeren PP filamentin ve % 5.00 metal katkısı içeren PLA filamentlerde ciddi gözenek ve boşluk sorunu tespit edilmiştir. Bu filamentler ile üretim yapılmaması uygun görülmüştür. Öte yandan, %5.00 metal katkısı içeren PP matrisli kompozit filamentte boşluk miktarı diğer filamentlere göre daha düşüktür. Bu filament ile üretilen yapıların mekanik özelliklerinde iyileşme beklenmektedir.



## Kaynakça

- [1] Ribeiro, Matos, Jacinto, Salman, Cardeal, Carvalho, Godina, & Peças. (2020). Framework for life cycle sustainability assessment of additive manufacturing. *Sustainability*, 12(3), 929. <https://doi.org/10.3390/su12030929>
- [2] Wagner, M. A., Hadian, A., Sebastian, T., Clemens, F., Schweizer, T., Rodriguez-Arbaizar, M., Carreño-Morelli, E., & Spolenak, R. (2022). Fused filament fabrication of stainless steel structures - from binder development to sintered properties. *Additive Manufacturing*, 49, 102472.
- [3] Thompson, Y., Gonzalez-Gutierrez, J., Kukla, C., & Felfer, P. (2019). Fused filament fabrication, debinding and sintering as a low cost additive manufacturing method of 316L stainless steel. *Additive Manufacturing*
- [4] Rahman et al. (2015). Mechanical properties of additively manufactured PEEK components using fused filament fabrication.
- [5] Chaturvedi, E., Rajput, N. S., Upadhyaya, S., & Pandey, P. K. (2017). Experimental study and mathematical modeling for extrusion using high density polyethylene. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 1670-1676. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.006>
- [6] Dey, A., & Yodo, N. (2019). A systematic survey of FDM process parameter optimization and their influence on part characteristics. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 3(3), 64. <https://doi.org/10.3390/jmmp3030064>
- [7] Mazzanti, V., Malagutti, L., & Mollica, F. (2019). FDM 3D printing of polymers containing natural fillers: A review of their mechanical properties. *Polymers*, 11(7), 1094. <https://doi.org/10.3390/polym11071094>
- [8] Rodríguez-Panes, A., Claver, J., & Camacho, A. (2018). The influence of manufacturing parameters on the mechanical behaviour of PLA and ABS pieces manufactured by FDM: A comparative analysis. *Materials*, 11(8), 1333. <https://doi.org/10.3390/ma11081333>
- [9] Rutkowski, J. V., & Levin, B. C. (1986). Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymers (ABS): Pyrolysis and combustion products and their toxicity a review of the literature. *Fire and Materials*, 10(3-4), 93-105. <https://doi.org/10.1002/fam.810100303>
- [10] Lee, J., An, J., & Chua, C. K. (2017). Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials. *Applied Materials Today*, 7, 120-133. <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2017.02.004>
- [11] Dey, A., Hoffman, D., & Yodo, N. (2019). Optimizing multiple process parameters in fused deposition modeling with particle swarm optimization. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 14(2), 393-405. <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00637-9>
- [12] Dey, A., Hoffman, D., & Yodo, N. (2019). Optimizing multiple process parameters in fused deposition modeling with particle swarm optimization. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 14(2), 393-405. <https://doi.org/10.1007/s12008-019-00637-9>
- [13] Ahn, S., Montero, M., Odell, D., Roundy, S., & Wright, P. K. (2002). Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS. *Rapid Prototyping Journal*, 8(4), 248-257. <https://doi.org/10.1108/13552540210441166>
- [14] Dawoud, M.M.; Saleh, H.M. Introductory Chapter: Background on Composite Materials. In Characterizations of Some Composite Materials; InTechOpen: London, UK, 2018.

- [15] C. B. Carolo, L., & Cooper O., R. E. (2022). A review on the influence of process variables on the surface roughness of ti-6al-4V by electron beam powder bed fusion. *Additive Manufacturing*, 59, 103103. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.103103>
- [16] Masood, S., & Song, W. (2004). Development of new metal/polymer materials for rapid tooling using fused deposition modelling. *Materials & Design*, 25(7), 587-594. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2004.02.009>
- [17] Kamaal, M., Anas, M., Rastogi, H., Bhardwaj, N., & Rahaman, A. (2020). Effect of FDM process parameters on mechanical properties of 3D-printed carbon fibre–PLA composite. *Progress in Additive Manufacturing*, 6(1), 63-69. <https://doi.org/10.1007/s40964-020-00145-3>
- [18] 89. Li, N.; Li, Y.; Liu, S. Rapid prototyping of continuous carbon fiber reinforced polylactic acid composites by 3D printing. *J. Mater. Process. Technol.* 2016, 238, 218–225. [CrossRef]
- [19] Patel, A., & Taufik, M. (2021). Nanocomposite materials for fused filament fabrication. *Materials Today: Proceedings*, 47, 5142-5150. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.05.438>
- [20] Caminero, M., et. al. (2019). Additive manufacturing of PLA-based composites using fused filament fabrication: Effect of Graphene Nanoplatelet reinforcement on mechanical properties, dimensional accuracy and texture. *Polymers*, 11(5), 799. <https://doi.org/10.3390/polym11050799>
- [21] Zhu, D., et. al. (2017). Thermal and mechanical properties of polyamide 12/graphene nanoplatelets nanocomposites and parts fabricated by fused deposition modeling. *Journal of Applied Polymer Science*
- [22] Thompson, Y., Gonzalez-Gutierrez, J., Kukla, C., & Felfer, P. (2019). Fused filament fabrication, debinding and sintering as a low cost additive manufacturing method of 316L stainless steel. *Additive Manufacturing*, 30, 100861. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100861>

## Özgeçmiş

Özgür Uyar, 2020 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nden Metalurji ve Malzeme Mühendisliği mezunudur. Aynı yıl uluslararası kaynak mühendisliği eğitimini tamamlamıştır. 2019 yılından bu yana GSI SLV-TR'de çalışmaktadır. Yüksek lisans tezi olarak kafes yapıların katmanlı imalatına odaklanan Özgür Uyar bu alanda araştırmalarına devam etmektedir. 2023 yılında Avrupa Kaynak Federasyonu (EWF)'in yürüttüğü bir pilot proje kapsamında Uluslararası Metal Katmanlı İmalat Koordinatörü unvanını kazandı.

# DEKANTÖR SANTRİFÜJ HELEZONU KANATLARININ AŞINMA DİRENCİNİN KAPLAMA İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

*Cemal MERAN<sup>1</sup>, Uğur İZ<sup>2</sup>, Fatih ÜSTEL<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Prof.Dr., Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Müh. Bölümü, Denizli,  
cmeran@pau.edu.tr

<sup>2</sup>Polat Makina Sanayi A.Ş., Aydın, u.iz@polatas.com.tr

<sup>3</sup>Prof.Dr., Sakarya Üniversitesi Müh. Fakültesi Metalurji ve Malzeme Müh. Böl., Sakarya  
ustel@sakarya.edu.tr

## ÖZET

Günümüzde atık su, çöp, zehirli gazların salınımı vb. durumlar çevre kirliliğini artırmakta ve ekosistemde birçok değişikliğe yol açarak tüm canlıları etkilemektedir. Doğaya ve insana saygı çerçevesinde bu etkiyi azaltmak adına atık suların temizlenmesine yönelik yeni bir teknoloji olan dekantör santrifüj makineleri tercih edilmektedir. Sektörün hızla büyümesinin bir sonucu olarak müşteri taleplerini en üst düzeyde karşılamak ve dekantörün daha performanslı çalışması için helezon adı verilen parçanın da başta aşınma dayanımı olmak üzere yüksek mekanik özelliklerde olması istenir. Bu çalışma kapsamında helezonların aşınma dayanımını artırmak amacıyla AISI 304 altlık üzerine hem alev sprej hem de plazma transfer ark (PTA) yöntemleriyle üç farklı bileşimde tozla kaplamaları yapılmıştır. Kaplama yapılan numunelere ASTM G-65 standardına uygun aşınma testleri yapılmıştır. Deney numunelerine SEM ve mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucu alev sprej yöntemiyle yapılan kaplamaların aşınma direnci PTA yöntemine göre daha iyi çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Dekantör, helezon, alev sprej kaplama, plazma ark kaplama, aşınma

## ABSTRACT

Today, wastewater, garbage, release of toxic gases, etc. situations increase environmental pollution and cause many changes in the ecosystem and affect all living things. Decanter centrifuge machines, which are a new technology for cleaning wastewater, are preferred in order to reduce this effect within the scope of respect for nature and human beings. As a result of the rapid growth of the industry, in order to meet customer demands at the highest level and for the decanter to operate more efficiently, the part called spiral is required to have high mechanical properties, especially wear resistance. Within the scope of this study, three different compositions of powder coatings were applied on AISI 304 substrate by both flame spray and plasma transfer arc (PTA) methods in order to increase the wear resistance of the scrolls. The coated specimens were subjected to wear tests in accordance with ASTM G-65 standard. SEM and microhardness measurements were performed on the test specimens. As a result of the experiments, the wear resistance of the coatings made by flame spray method was better than the PTA method.

**Key Words:** Decanter, scroll, flame spray coating, plasma transferred arc coating, wear

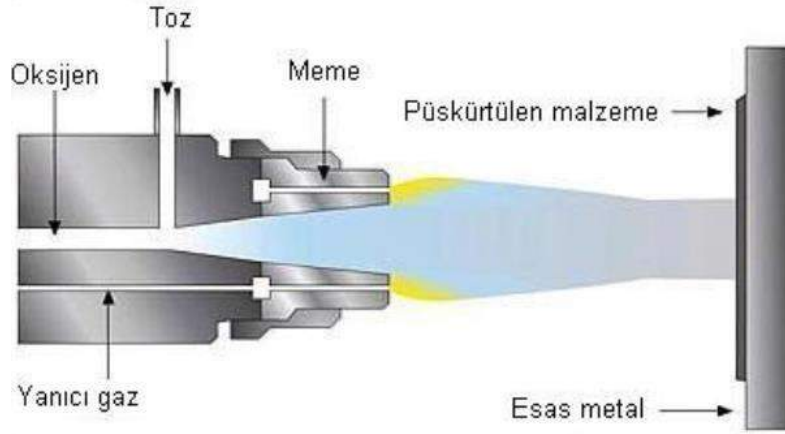
## 1. GİRİŞ

Makinelerde kullanılan parçaların bakım maliyetleri ve ömürleri günümüzde gittikçe önem kazanmakta ve maliyetlerin düşmesi açısından uzun ömürlü olmasına yönelik talepler de gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle dekantör santrifüj makineleri için en önemli parça olan helezon kanatlarının aşınmaya dirençli kaplanması, hem bakım maliyetini azaltmada hem de çalışma verimini arttırmada önem arz etmektedir.

Dekantör santrifüj makinelerinde tambur içerisinde merkezkaç kuvvetinin etkisiyle ayrışan süspansiyondaki katı maddeler konik tamburdan şanzımanın yarattığı diferansiyel hız farkı ve helezonun itmesi sayesinde sistem dışına atılmaktadır [1]. Ayrıştırılmak istenen süspansiyonun içerisinde çok farklı aşındırıcı partiküller mevcuttur. Bunlardan bazıları zeytin hamurunda yer alan kırılmış zeytin çekirdeği, endüstriyel atık çamurlarında bulunan silisyum içerikli parçacıklar, kâğıt endüstrisinde karşılaşılan kalsit içerikli tanecikler, petrol ve gaz endüstrisindeki sondaj işlemi ile çıkarılan ürünlerde bulunan kum taneleridir. Bu tipteki ürünler helezon kanatlarında çeşitli yüzey bozulmalarına ve abrasif aşınmalara neden olmaktadır.

Helezonun uzun ömürlü olabilmesi için aşındırıcı olabilecek ürünlere karşı dayanıklı olabilmesi gereklidir. Geçmişten günümüze kadar helezonun aşınma direncini arttırmaya yönelik çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Özellikle helezon kanatlarına uygulanan bu yöntemlerden birisi kaplama tozlarını kullanarak alev sprej kaplama, diğeri ise yine kaplama tozlarını kullanarak PTA (plazma transfer ark) kaplama şeklinde sıralayabiliriz.

Alev sprej yöntemi Max Ulrich Schoop tarafından 1909 yılında patentlenen bilinen en eski termal sprej yöntemidir [2]. Toz alev sprej ve tel alev sprej olarak iki farklı yöntemi mevcuttur. İlk önceleri kalay ve kurşun telleri asetilenin oksijenle yakılarak elde edildiği alevde kaplama yapılırken; daha sonra toz kullanımına başlanmıştır. Alev sprej yönteminde asetilen, propan veya hidrojen, oksijen ile birlikte yakılarak alev elde edilir. Düşük basınçlı oksijen yakıt kaplama sistemidir. Alev sprej, seramiklerden polimerlere ve refrakter malzemelere kadar çok çeşitli malzemeleri püskürtme kapasitesine sahiptir [3]. Alev sprej kaplamalar, metal ve alaşımların yüzeylerini korozyon ve aşınmaya karşı korumak için endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır [4].

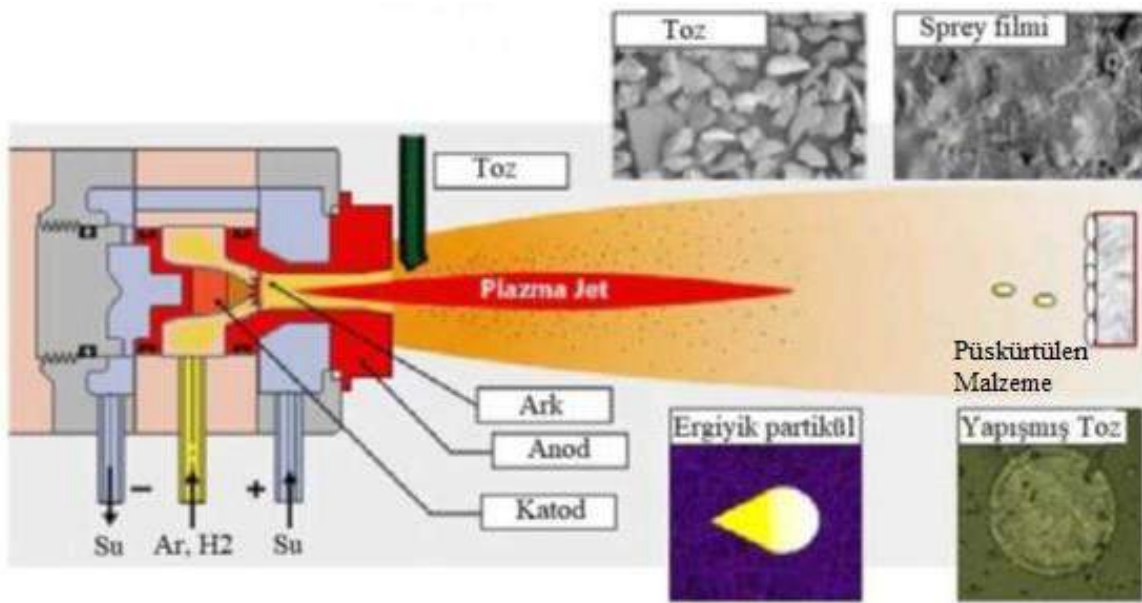


Şekil 1: Toz alev sprej yöntemi şematik görünüşü

Şekil 1’de görüleceği gibi oksijen ve yakıt gazı karışımı yakılarak ve taşıyıcı gaz yardımıyla tozu aleve taşıyarak toz eriyik veya yarı eriyik forma getirilir. Gaz basınçlarının da etkisiyle hızlandırılan parçacıklar altlık üzerine kaplanır.

Plazma transfer ark kaplama teknolojisi alev sprej ve ark sprejden sonra geliştirilmiştir. Metallerin korozyona, yüksek sıcaklık oksidasyonuna ve aşınmaya karşı dirençlerinin artırılması seramik kaplamalarla mümkündür. Bu tür kaplamaların uygulanması plazma transfer ark yöntemi ile de yapılabilmektedir. Bu yöntemle gerçekleştirilen kaplama belirtilen özellikleri sağladığı gibi, ana malzemenin üstün özelliklerinden tokluk ve şekil değiştirilebilirlik özellikleri korunmaktadır ve böylece metal ve seramiklerin üstün özelliklerinden bir arada faydalanılmaktadır.

Plazma transfer ark kaplama ergime derecesi çok yüksek kaplamalar için uygulanır. Bu yöntemde, yüksek sıcaklıktaki kimyasal kararlılık, mükemmel aşınma direnci ve korozyona karşı dayanıklılığından dolayı seramik (özellikle oksit esaslı) tozlar, metalik tozlara nazaran daha çok kullanılır [5]. Şekil 2’de belirtildiği gibi elektrik arkı, elektrot ve ikincil elektrot olarak davranan nozula uygulanır. Basınçlı inert gaz (argon, helyum, azot, hidrojen) elektrotlar arasından geçirilir. Argon genellikle ana gaz olarak seçilir, çünkü kimyasal olarak inerttir [6]. Gazın entalpisi diatomik gazların, hidrojen veya azotun eklenmesiyle arttırılabilir [7]. Çok yüksek sıcaklığa ulaşan gaz, plazma formuna dönüşür. Kaplama tozu plazmaya üst kısımdan taşıyıcı gaz yardımıyla beslenir. Taşıyıcı gazın debisi bu noktada önemlidir. Çünkü toz plazmaya sokulmak suretiyle eriyik veya yarı eriyik hale getirilir. Gaz debisinin az olması toz beslemenin yetersiz olmasına sebep olur toz plazma içerisine sokulamaz. Aksi durumda ise toz çok beslenir ve parçacıklar ergimeyebilir. Hatta plazmanın altına geçerek hiç kaplamaya girmeyebilir ve sonuçta sürecin verimi düşebilir. Plazma transfer ark sistemi, güç kaynağı, gaz kaynağı, tabanca ve toz besleme ünitelerini içerir. PTA yüzey modifikasyon uygulamaları, petrol sondajı, maden sanayi, enerji üretimi, plastik ekstrüzyon, çelik yapımı ve petrokimya endüstrilerinde başarıyla uygulanmaktadır [8].



Şekil 2: PTA (Plazma Transfer Ark) yöntemi şematik gösterimi

## 2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışma kapsamında helezonların aşınma dayanımını arttırmak amacıyla AISI 304 altlık üzerine hem alev spreysel hem de plazma transfer ark (PTA) yöntemleriyle üç farklı bileşimde tozla kaplamaları yapılmıştır. Kaplama yapılan numunelere ASTM G-65 standardına uygun aşınma testleri uygulanmıştır. Deney numunelerine SEM ve mikro sertlik ölçümleri yapılmıştır.

### 2.1 Numunelerin Hazırlanması

Helezon üzerindeki kanatların birebir temsili için kullanılacak olan numuneler test cihazı standartlarına da uygun olabilmesi için 6x25x50 mm boyutlarında ve X5CrNi18-10 paslanmaz çelik malzeme kalitesinde altlık olarak belirlenmiştir. Altılık malzemeye ait kimyasal kompozisyon Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1: X5CrNi18-10 paslanmaz çelik kimyasal kompozisyonu [9]

Elementler	Kompozisyon (%)
Fe	-
Cr	18-20
Ni	8-10.5
Mn	2 (maks.)
Si	1 (maks.)
C	0.08 (maks.)
P	0.04 (maks.)
S	0.03 (maks.)

Kaplama yapılacak toz için 3 farklı tip<sup>1</sup> belirlenmiştir ve a, b ve c olarak nitelendirilmiştir. “a” tipli toz alev püskürtme yöntemine uygun bir toz olup ~64 HRC sertlik, ince ve kaba boyutlu aşındırıcılara karşı erozyona ve aşınmaya karşı üstün direnç özellikleri, makine parçaları, taşıma helezonları, mikserler, türbin kanatları ve pompa çarklarında uygulanabilirliği olduğu için tercih edilmiştir. “b” tipli toz PTA yöntemine uygun bir toz olup ~60 HRC sertlik, mükemmel aşınma direnci özelliği, taşıma helezonlarında, delici takımlarda, ağaç işçiliği takımlarında ve mikserlerde uygulanabilirliği olduğu için tercih edilmiştir. “c” tipli toz PTA yöntemine uygun bir toz olup ~58 HRC sertlik, yüksek aşınma direnci özellikleri, taşıma helezonları, koruma amaçlı kullanılan burçlar ve pompalarda uygulanabilirliği olduğu için tercih edilmiştir. Tablo 2’de 3 farklı numuneye ait yapılmış olan kaplama yöntemi ve kullanılan kaplama tozlarının WC içeriği belirtilmiştir. Her bir tozun içeriğinde %60 WC ihtiva etmekte ve diğer elementler ise dengeli bir şekilde dağılmış haldedir.

Tablo 2: Numunelere ait tip ve kaplama bilgileri

Numune Numarası	1	2	3	4
Yöntem	Alev Sprey	PTA	PTA	Altlık Malzeme
Toz	a	b	c	-
WC oranı	%60	%60	%60	-

Kaplama için kullanılacak olan tozlar, öncesinde homojen karışım elde edebilmek için 3d mikser olarak adlandırılan ekipman ile 30 dakika boyunca karıştırılmıştır. Hazırlanan a, b, c tipli tozların kimyasal kompozisyonları Tablo 3’te belirtilmiştir.

Tablo 3: Kullanılan tozların kimyasal bileşimleri (%)

Toz Tipi	C	Si	Fe	Cr	Ni	B	Diğer
a	0,1 maks.	4,5	6,2	7,4	18,7	3,2	%60 WC
b	0,2	3,6	2,0	0,5	30,9	2,8	%60 WC
c	0,7	1,6	6,5	0,8	29,0	1,4	%60 WC

<sup>1</sup> Toz tipi şirket gizliliği kararı gereği a, b, c şeklinde belirtilmiştir.



## 2.2 Numunelerin Kaplanması

Hazır hale getirilen altlıklar ile kaplama tozları alev sprej ve PTA yöntemi ile kaplama işlemi için hazır hale getirilmiştir. “a” tipli toz alev sprej kaplama yöntemine uygun bir toz tipidir. Bu nedenle numune 1 için alev sprej yöntemi ile Tablo 4’te yer alan parametrelerde iş parçasına nüfuz ettirilmiştir. Bu yöntem geleneksel bir yöntem olduğu için geniş parametre ağı sunmamakla birlikte kullanılan torç üzerinde yazan gaz basıncı değerlerini müsaade etmektedir. Mevcutta uygulanan kaplama işlemi için tercih edilen torç mesafesi ile toz debisi aynı kalacak şekilde numunelere kaplama işlemi uygulanmıştır.

Tablo 4: Alev sprej yöntemi ile “a” tipli tozun kaplama parametreleri

Üretim Parametreleri	Numune 1
Yakıcı Gaz Tipi	Oksijen
Yakıcı Gaz Basıncı (bar)	7
Yanıcı Gaz Tipi	Asetilen
Yanıcı Gaz Basıncı (bar)	1
Torç İle Kaplama Tabakası Ara Mesafesi (mm)	18
Kaplama Kalınlığı (mm)	2
Toz Besleme Debisi (g/min)	40,2
Toz Tipi	a

“b” tipli toz ile “c” tipli toz PTA yöntemine uygun bir toz tipidir. Bu nedenle numune 2 ve numune 3 için PTA yöntemi ile Tablo 5’te yer alan parametrelerde iş parçasına nüfuz ettirilmiştir. Burada toz üreticisi firmaların teknik verilerinde yer alan uygulama parametreleri tercih edilmiştir.

Tablo 5: PTA yöntemi ile “b” ve “c” tipli tozun kaplama parametreleri

Üretim Parametreleri	Numune 2	Numune 3
Akım (A)	90	100
Gerilim (V)	20	20
Koruyucu Gaz Tipi	Argon	Argon
Koruyucu Gaz Debisi (l/min)	16	16
Plazma Gaz Tipi	Argon	Argon
Plazma Gaz Debisi (l/min)	5	5
İlk Kat Üretim Hızı (m/min)	0,18	0,18
Son Kat Üretim Hızı (m/min)	0,08	0,08
Torç İle Kaplama Tabakası Ara Mesafesi (mm)	8	8
Kaplama Kalınlığı (mm)	2	2
Toz Besleme Debisi (g/min)	26	26
Elektrod Türü	%2 La+%98 W	%2 La+%98 W
Toz Tipi	b	c

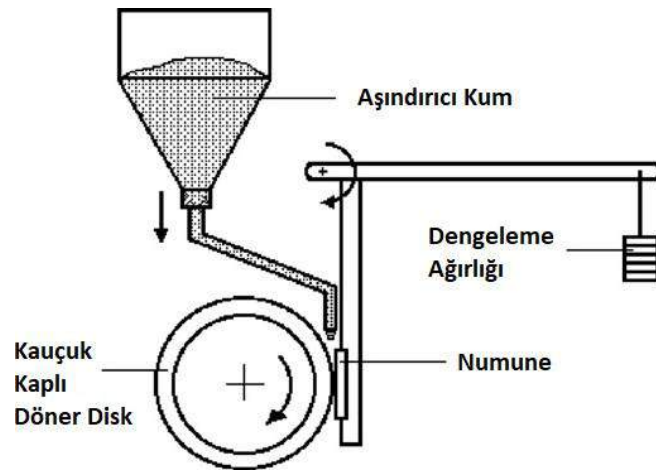
Deneysel çalışmalar öncesinde alev sprej yöntemi ve “a” tipli toz ile kaplanan numune 1 Şekil 3.a’da gösterilmiştir. Aşınma testi öncesi PTA yöntemi ile ve hem “b” hem de “c” tipli toz ile hazırlanmış numune 2, Şekil 3.b’de, numune 3 ise Şekil 3.c’de gösterilmiştir.



Şekil 3: a) Numune 1’e ait test öncesi görüntü, b) Numune 2’ye ait test öncesi görüntü, c) Numune 3’e ait test öncesi görüntü,

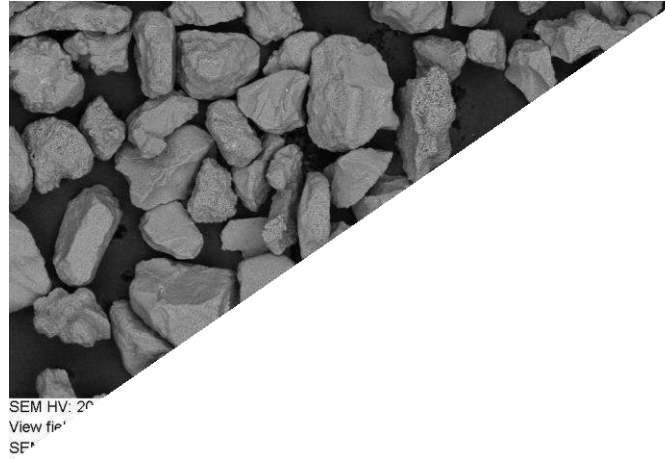
### 2.3 Aşınma Testi

Aşınma testi, Amerikan Test ve Malzeme Kuruluşu (ASTM) tarafından standartlaştırılmış ve literatüre kazandırılmış bir test yöntemidir. ASTM G65 olarak nitelendirilen bu standart kuru kum veya tekerlek aparatı kullanarak metal malzemelerin çizilme aşınmasına karşı direncini belirlemek için kullanılır. Bu test, aşınmaya maruz kalan numunenin kalitesini, dayanıklılığını ve tokluğunu belirlemede yararlıdır. ASTM G65 test yöntemi, test numunesinin belirli kalınlık miktarları veya aşınma direnci için beş farklı yöntem sunmaktadır (prosedür A, B, C, D ve E). Bu çalışmada prosedür A kullanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4: ASTM G-65 aşınma testi şeması [10]

Standart test numunesi ASTM G65 tarafından belirtildiği gibi kontrollü ve uygun bileşime sahip bir kumla aşındırılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5: Aşındırıcı kumu SEM görüntüsü

Test cihazı, aşınmaya dayanıklı kauçuk kaplı paslanmaz çelik döner tekerlek ile numunenin bağlanacağı bir koldan meydana gelir. Cihazın üstünde testte aşındırıcı olarak kullanılan kumun konulacağı bir hazne mevcut olup kum bu hazneden yerçekiminin cazibesi ile teker ile numune arasına doğru akar. Numunenin yerleştirileceği kolun diğer kısmına 130 N'luk yük uygulayacak şekilde ağırlık asılmıştır. ASTM G65 Prosedür A şartlarının sağlanması amaçlı numuneler 30 dakika boyunca  $120 \text{ min}^{-1}$  dönen tekerlek ile dakikada 300 gr kum akışı ile test numuneleri abrasif aşınmaya maruz bırakılmıştır. Test cihazına ait olan parametreler Tablo 6'da gösterilmiştir. Test öncesi hassas terazi ile ağırlık ölçümü 0,001 gr hassasiyetinde ayarlanmış olup, test öncesi ağırlıkları ve test sonrası ağırlıkları ölçülmüştür.

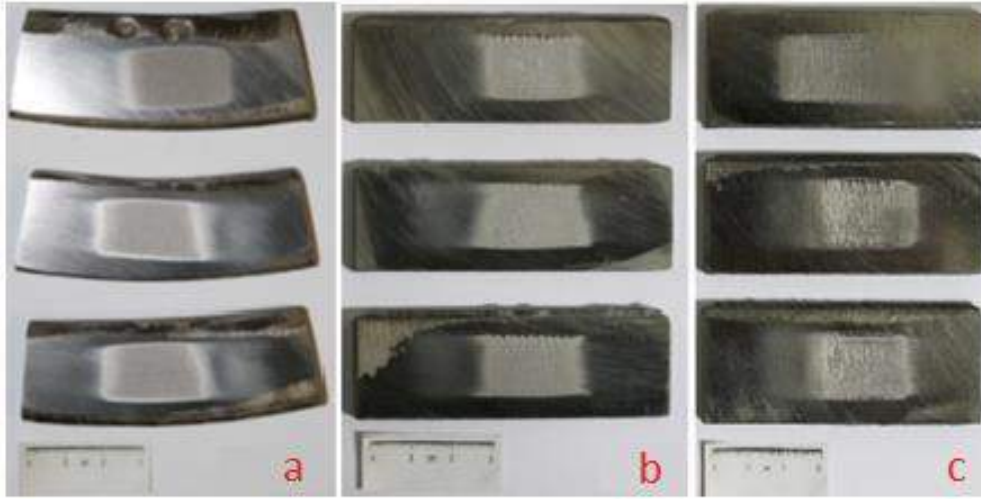
Tablo 6: Aşınma test cihazı parametreleri

Test Parametreleri	
Aşınma Mesafesi (m)	4309
Aşındırıcı Kum Tipi	F50/70
Aşındırıcı Kum Akışı (g/min)	300
Uygulanan Yük (N)	130
Disk Çapı (mm)	225
Dönme Devri ( $\text{min}^{-1}$ )	120

### 3. DENEYSEL BULGULAR

#### 3.1 Aşınma Testi Bulguları

Hem alev sprey hem de PTA (plazma transfer ark) ile yapılan kaplamalar ASTM G-65 Prosedür A standardına göre aşındırılmıştır. Aşınma testi sonrasında alev sprey yöntemi ve "a" tipli toz ile kaplanan numune 1'e ait aşınma izlerinin yer aldığı görsel Şekil 6.a'da gösterilmiştir. Yine aşınma testi sonrasında PTA yöntemi ile ve "b" tipli toz ile kaplanan numune 2'ye ait aşınma izlerinin yer aldığı görsel Şekil 6.b'de, "c" tipli toz ile kaplanan numune 3'e ait aşınma izlerinin yer aldığı görsel ise Şekil 6.c'de gösterilmiştir.



Şekil 6: a) Numune 1'e ait test sonrası görüntü, b) Numune 2'ye ait test sonrası görüntü, c) Numune 3'e ait test sonrası görüntü,

Yapılan bu çalışmada her numune için 3'er adet olarak aşınma testi cihazında aşınmaların ağırlıkça değerleri tespit edilmiştir. Tablo 7 içerisinde test öncesi numunelere ait gram (g) cinsinden kütle değerler, test sonrası numunelere ait gram (g) cinsinden kütle değerleri ve bu kütlelerin farkından oluşan gram (g) cinsinden kütle farkı değerleri verilmiştir.

Tablo 7: Aşınma testi kütle değişimi

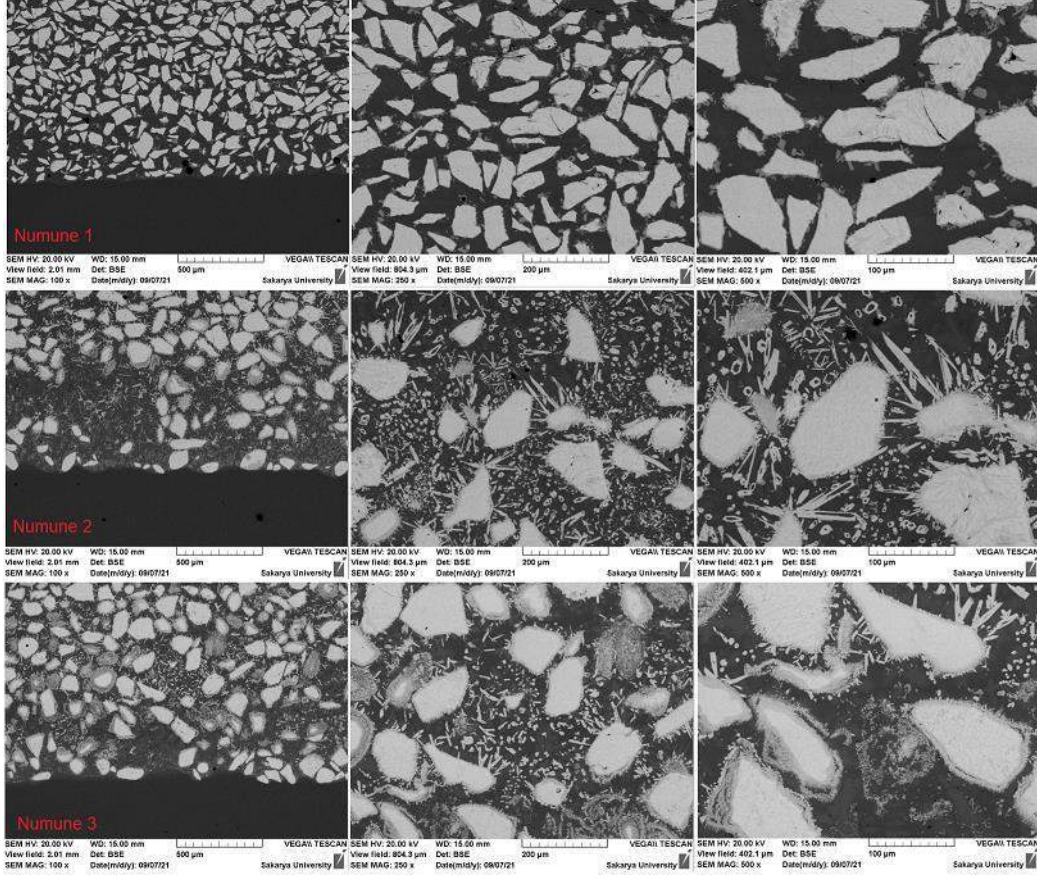
Numune	İlk Kütle (g) $W_0$	Son Kütle (g) $W_1$	Kütle Farkı (g) $\Delta W$	Ortalama (g) $\Delta W$
AISI 304	57,490	56,250	1,240	1,240
Numune 1 (Alev Sprey a tıpli toz)	98,894	98,689	0,205	0,168
	99,260	99,125	0,135	
	92,720	92,557	0,163	
Numune 2 (PTA b tıpli toz)	79,830	79,280	0,550	0,475
	82,540	82,080	0,460	
	81,760	81,346	0,414	
Numune 3 (PTA c tıpli toz)	80,580	80,340	0,240	0,207
	81,390	81,200	0,190	
	84,680	84,490	0,190	

### 3.2 Mikro Yapı Analizi Bulguları

Aşınma testi sonrası taramalı elektron mikroskobu ile SEM analizleri gerçekleştirilmiştir. Hem alev sprej yöntemi hem de PTA yöntemi ile kaplanan numunelere ait numune 1, numune 2 ve numune 3'ün SEM analizi görüntüleri sırasıyla alt alta olacak şekilde ve soldan sağa doğru büyütülerek Şekil 7'de gösterilmiştir. Numune 1'de kaplamada oluşan karbür dağılımı homojen iken numune 2 ve numune 3'te homojen olmadığı görülebilmektedir.



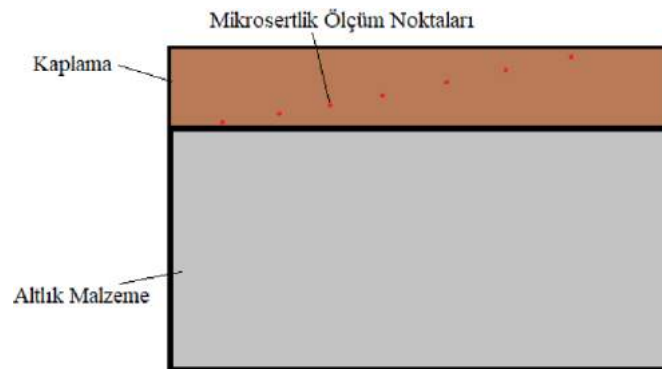
Numune 2 için “b” tipli toz kullanılmıştı ve en kötü karbür dağılımı da yine bu numunede mevcuttur. Ek olarak PTA ile yapılan tüm kaplamalarda karbür tanelerinde yanma ve saçılma meydana gelmiştir.



Şekil 7: Numune 1, numune 2 ve numune 3'e ait SEM görüntüleri

### 3.3 Sertlik Ölçüm Analizi Bulguları

Sertlik ölçümü için numuneler üzerinde 2000 gram (g) yük 15 saniye uygulanarak sertlik ölçüm cihazı ile Vickers mikrosertlik değerleri elde edilmiştir. Numunelerin sertlik ölçümleri 0,500 µm aralıklarla 7 ayrı noktadan Şekil 8'de gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 8: Numuneler üzerinde sertlik ölçüm noktaları

Her bir numune için 7 farklı noktadan sertlik değerleri alındıktan sonra en yüksek değer ile en düşük değer çıkarılarak kalan sertlik değerlerinin ortalaması nihai sertlik değeri olarak yazılmıştır. Tablo 8’de tüm numunelerin Vickers mikrosertlik değerleri belirtilmiştir. En yüksek sertlik değeri olarak alev sprej yöntemi ile yapılan numunede olduğu görülmektedir. Sertlik değerinin yüksek çıkması doğru orantılı olarak da aşınma direncinin de yüksek çıkmasını sağlamıştır.

Tablo 8: Numunelerin Vickers mikro sertlik değerleri

	Numune 1	Numune 2	Numune 3
İzler	HV <sub>2</sub>	HV <sub>2</sub>	HV <sub>2</sub>
1	957	464	701
2	936	512	608
3	959	816	532
4	1195	648	716
5	764	495	678
6	1037	500	666
7	1120	608	703
Ortalama	1001,8	552,6	671,8

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada dekantör santrifüj makinesinin bir alt komponenti olan helezonun aşınma direncini arttırmak için uygun kaplama yöntemi ve tozu belirlenmiştir. Bunun için bir dizi testler yapılmış ve yapılan testler sonucu olarak da;

- Aşınma testi sonrası ağırlıkça kütle kaybı altlık malzeme AISI 304 için 1,240 g, numune 1 için 0,168 g, numune 2 için 0,475 g, numune 3 için ise 0,207 g olarak tespit edilmiştir.
- Ortalama Vickers mikro sertlik değerleri sırasıyla numune 1 için 1001,8 HV<sub>2</sub> , numune 2 için 552,6 HV<sub>2</sub>, numune 3 için ise 671,8 HV<sub>2</sub> olarak tespit edilmiştir.
- Alev sprej yöntemi ile kaplanan numunelerin içyapıları incelendiğinde segregasyon ve yığılma yoktur, kullanılan teknik ve tozun doğası gereği irili ufaklı keskin köşeye sahip karbürler meydana gelmiştir, karbür dağılımı açısından da daha homejen bir yapıya sahiptir. Bu nedenle alev sprej yönteminin aşınma direnci PTA yöntemine göre daha iyi çıkmıştır (Tablo 7).
- PTA ile kaplanan numunelerin içyapıları incelendiğinde ise irili ufaklı keskin köşeye sahip karbürlerin mevcuttur ancak homejen dağılım söz konusu değildir.
- Yüksek ısı girdisinin etkisiyle PTA ile yapılan kaplamalarda karbürlerin etrafında dentritik yapıların oluştuğu tespit edilmiştir.

Tüm bu çalışmaların ışığında ileride farklı katkılara sahip toz tipleri ile (özellikle seramik katkı) testler gerçekleştirilebilir. Kullanılan PTA sisteminin iyileştirilmesi için ısı girdisini azaltarak ve karbür çökmesi ile dentritik yapıların azaltılması adına soğutma sistemli yapılar kullanılarak çalışmalar yürütülebilir.



## 5. KAYNAKÇA

- [1] Records, A., & Sutherland, K., 2001, "Decanter Centrifuge Handbook", 1st Edition, Elsevier Science Ltd, United Kingdom.
- [2] S. Siegmann, C. Abert, 2013, 100 years of thermal spray: About the inventor Max Ulrich Schoop, Surf. Coat. Technol. 200, 3-13, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.10.034>.
- [3] L. Pawlowski, 2008, The science and engineering of thermal spray coatings, second ed., John Willey and Sons Ltd., England, [http://dx.doi.org/10.1016/0263-8223\(96\)80006](http://dx.doi.org/10.1016/0263-8223(96)80006).
- [4] J.R. Davis, 2004, Handbook of Thermal Spray Technology, ASM International.
- [5] Wang, Y., Jiang, S., Wang, M., Wang, S., Xiao, T.D., Strutt, P.R., 2000, "Abrasive Wear Characteristic Of Plasma Sprayed Nanostructured Alumina/Titania Coatings, Wear, 237, 176–185.
- [6] Kaya, Ö. A., Çakır, K., Bozkurt, Y., 2017, "Plazma Püskürtme Yöntemiyle Çelik Levha Üzerine Farklı Alaşımların Kaplanması", International Journal of Engineering Research and Development, 9, 3.
- [7] Robert, C., Tucker, Jr., ASM Handbook, Volume 5: Surface Engineering C.M. Cotell, J.A. Sprague, and F.A. Smidt, Jr., editors, (p 497-509), Thermal Spray Coatings, , Praxair Surface Technologies, Inc.
- [8] Acevedo-Dávila, J. L., Muñoz-Arroyo, R., Hdz-García, H. M., Martínez-Enriquez, A. I., Alvarez-Vera, M., & Hernández-García, F. A. (2017). Cobalt-based PTA coatings, effects of addition of TiC nanoparticles. Vacuum, 143, 14-22.
- [9] Yüksel M, Meran C, 2016, "Malzeme Bilgisi", MMO/545/3, Ankara
- [10] S. Laino; J.A. Sikora; R.C. Dommarco (2008). Development of wear resistant carbide austempered ductile iron (CADI). , 265(1-2), 1–7.

---

## Elektron Ergitme Yöntemiyle Ti6Al4V Parçaların Üretimi

ÜMIT AYTAZ<sup>1</sup>,

ABDÜLCELİL BAYAR<sup>2</sup>

1,2 Turkish Aerospace, 06980 Ankara, Turkey

### ÖZET

Eklemeli imalat, günümüzde konvansiyonel üretim metotlarına alternatif olarak kullanılan ana üretim yöntemlerden biri haline gelmiştir. Üretim maliyetini, kullanılan malzeme miktarını, üretim süresini veya kullanılan takım maliyetini en aza indirerek birçok avantaj sağlamaktadır. Genel olarak geometrik tasarım verilerinin katmanlar halinde ve istenilen nihai şekil oluşuncaya kadar katmanların üst üste serilerek ergitilmesi prensibine dayanır. Kullanılan malzeme çeşidine, enerji kaynağına, malzemenin yığılma şekline göre farklı türde yöntemler bulunmaktadır. Elektron ışını ile ergitme (EBM) yöntemi, toz yataklı katmanlı imalat yöntemlerinden biridir. Vakum ortamında gerçekleşen temassız ergitme yöntemi ile yüksek ergitme sıcaklıklarına sahip veya reaktif malzemelerden parça üretimi gerçekleştirilmektedir. Yöntem sırasında kullanılan üretim parametreleri, elde edilecek nihai ürün üzerinde önemli etkilere sahiptir. Işın gücü, tarama hızı, katman kalınlığı, ışın çapı gibi kullanılan parametreler için optimum aralık belirlemek üretilecek parçanın kalitesinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Yapılan çalışmada EBM yöntemi ile elde edilebilecek farklı mikroyapı ve mekanik özellikler incelenmiştir.

### 1. Giriş

Dünyada en fazla bulunan elementler arasında olan titanyum üstün özellikleri ve bu özelliklerin titanyumun başka elementlerle alaşımlandırılarak geliştirilebilir olması sebebi ile endüstride oldukça yaygın kullanılmaktadır. Sıklıkla kullanılan Ti-6Al-4V alaşımı, çeliğe göre düşük yoğunluklu olması, yüksek korozyon direncine sahip olması, yüksek sıcaklıklarda yüksek özgül mukavemetinin olması ve biyo-uyumluluğu gibi üstün malzeme özellikleri sayesinde havacılık, otomotiv, uzay, biyomedikal gibi geniş sektörlerde uygulama alanı bulmaktadır. İşlenmesi oldukça zor ve maliyetli olan Ti-6Al-4V malzemeden parça üretiminde kullanılan döküm, dövme, talaşlı imalat gibi geleneksel üretim yöntemlerinin yanı sıra, şekillendirmede günümüzde alışılmamış imalat yöntemlerinin kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Özellikle karmaşık geometriye sahip Ti-6Al-4V malzemeli parça üretimi için, düşük atık malzeme oranı ve işleme kolaylığı sağlayan katmanlı imalat teknolojileri vazgeçilmez bir hal almıştır [1–6].

---

Elektron ışın kaynağı ile ergitme metodunda yüksek yoğunluğa ve mekanik özelliğe sahip parçalar üretilebilir. Havacılık, Savunma sanayii ve medical gibi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır.

EBM geleneksel imalat yöntemlerine kıyasla birçok üstün özelliğe sahip olmasına rağmen, henüz geliştirilme aşamasında olan bir alışılmamış imalat yöntemidir. Üretim kararlılığı, ürün ve proses kalitesi, parça hataları, yüzey sorunları gibi problemlerin çözümü amacı ile mevcut çok sayıda yöntem parametresinin optimizasyonu üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Hem deneysel hem de modelleme - simülasyon temelli çalışmaların önemli olduğu vurgulanmaktadır. Bu yüzden EBM metodu ile üretilen parçalarda kalifikasyon ve doğrulama çalışması büyük önem arz etmektedir.

## 2. Eklemeli İmalat Proseslerinde Kalifikasyonun Önemi

Havacılık sektöründe, yapısal bileşenlerde oluşabilecek herhangi bir işlev kaybı doğrudan can ve mal kaybı riski doğurmaktadır. 1988 yılında yaşanan Aloha Airlines kazasında (Şekil 1), karşılaşılan durum kalifikasyon sürecinin önemi için bir örnek teşkil etmektedir. [7] Havacılık tarihi boyunca yaşanan bu ve benzeri birçok kaza, havacılık sektöründe kalifikasyon ve standardizasyonun önemini vurgulamaktadır [8].

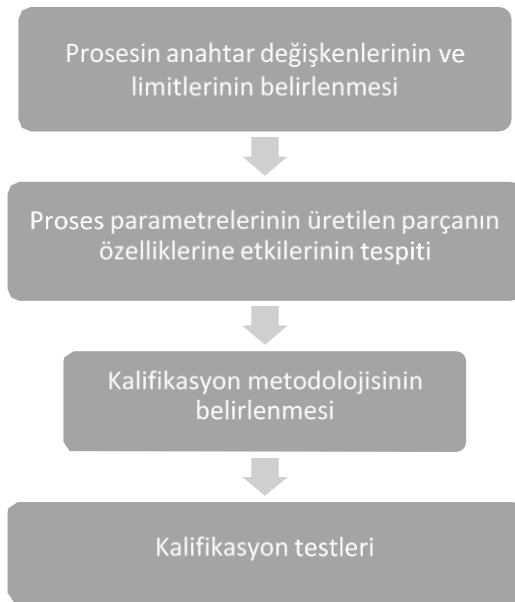


Şekil 1. Aloha Airlines 243'ün malzeme yorulmasına bağlı kazası sonrası fotoğrafı (1988).

Uçuş esnasında yaşanabilecek aksaklıkların önüne geçebilmek için, bir hava aracındaki tüm bileşenler, uygulamaya geçmeden önce ham malzeme, üretim prosesleri ve parça bazında detaylı ve sistematik standardizasyon ve kalifikasyon süreçlerinden geçmekte, ardından üretilen bileşenlerden yapısal kritik öneme sahip olanlar, belirlenen kurallar ve yönergeler doğrultusunda tahribatsız muayene aracılığıyla kontrol edilmektedir. Bir uçak parçasının üretiminde kullanılacak malzeme, özel proses ve üretim tezgahlarının güvenli ve sorunsuz uçuşu sağlayacak kriterleri karşılaması için yapılan bu sertifikalandırma sürecine kalifikasyon adı verilmektedir.

Kalifikasyon süreci, havacılık sektöründe güvenilir, tekrarlanabilir ve takip edilebilir üretimi sağlayarak uçuş güvenliğini temin eden bir metodoloji ve prosedürler bütünü oluşturmaktadır. Kalifikasyonun getirdiği standardizasyon ve prosedürler, ayrıca üretim, planlama ve malzeme temini gibi faaliyetleri sistematik hale getirerek maliyetlerin düşürülmesi ve tedarik zincirinin verimli bir şekilde devam ettirilmesine de katkı sağlamaktadır.

Şekil 2 kalifikasyon sürecine dahil olan unsurları özetlemektedir. Uçağa montajı yapılacak bir parçanın, kalifikasyon gereksinimlerini sağlaması için bu parçanın imal edildiği malzemenin (metal, plastik, kompozit gibi), üretim sürecinde uygulanan prosesin (döküm, ısıl işlem, dövme gibi), üretimin yapıldığı tezgahın (ısıl işlem fırını gibi) ve son olarak üretilen parçanın kendisinin kalifikasyonu yapılmalıdır. Tüm bu adımlar, ilgili parçanın uçuş esnasındaki performansını tümüyle öngörülebilir kılmaktadır.



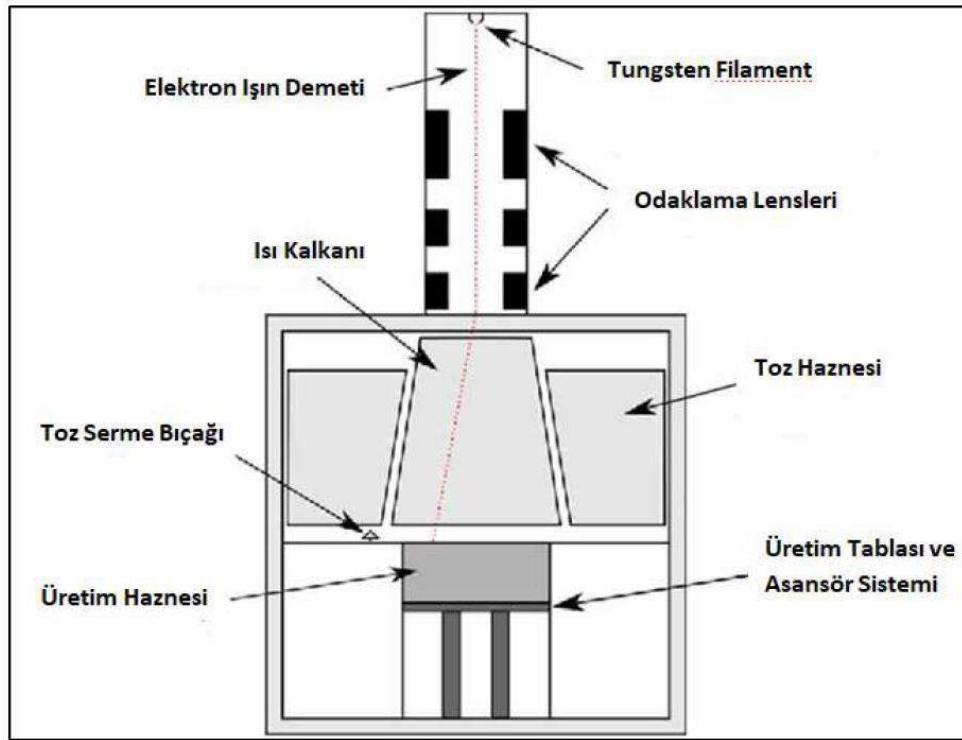
Şekil 2. Proses kalifikasyonunun temel adımları.

Kalifikasyon sürecinin doğru planlanması, uçuşa güvenli parçaların üretimi için kritik öneme sahiptir. Doğru planlama için ise, kullanılan üretim yönteminin malzemeden başlayan ve üretilen parçaya uzanan geniş bir yelpazede, üretim denemeleri, test ve analizlerle detaylı bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir.

### 3. Elektron Işınıyla Ergitme – Ti-6Al-4V

Karmaşık geometrilere parça üretiminin yüksek hassasiyette sağlanabilmesinin geleneksel yöntemler ile bazı durumlarda mümkün olmaması, bazı durumlarda ise imkânsız olması durumu katmanlı imalat teknolojileri kullanılarak Ti-6Al-4V parça üretiminin günümüzde oldukça yaygınlaşmasını sağlamıştır. Yüksek geometrik karmaşıklığa sahip Ti-6Al-4V parçaları üretmede toz yataklı katmanlı imalat veya doğrudan enerji yığıma gibi katmanlı imalat teknikleri kullanılabilir.

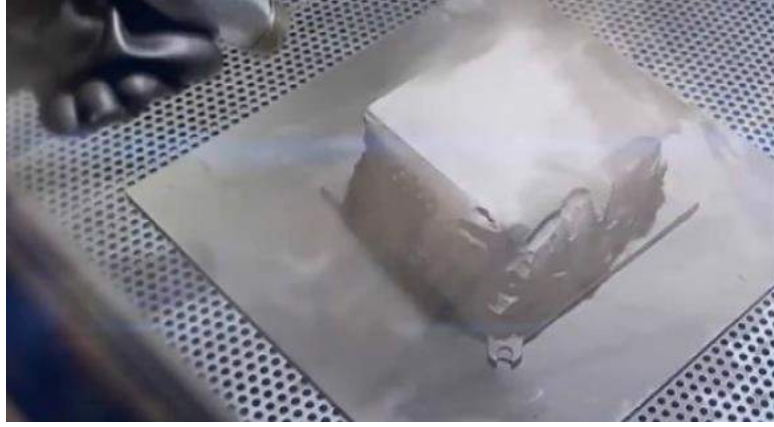
Toz yataklı ergitme sistemlerinden biri olan EBM yöntemi, kontrollü bir atmosfer ile vakum altında parça üretimi sağlar. EBM yöntemine ait üretim adımlarının şematik gösterimi Şekil 2 ve Şekil 3' de verilmiştir[9].Elektron ışını demetinin üretimde enerji kaynağı olarak kullanıldığı ilk makaleler 1992'de yayınlanmıştır. Sonrasında 1997 yılında ARCAM AB Corporation, EBM sisteminin S12 ve A2 makineleri ile patentini almıştır. İlk zamanlarda yalnızca takım çeliği tozu kullanılarak parça üretilebilen yöntem için günümüzde titanyum ve alaşımları, kobalt alaşımları, nikel alaşımları, bakır toz metalleriyle kullanılabilir. Tablo-1 de ekipman ile ilgili özellikler verilmiştir.



Şekil 3

Üretim Hacmi	350*380 mm
Güç	3 Kw
Katot Tipi	Single crystalline
Soğutma Tipi	Su Tipi
Hazne Basıncı	$5 \cdot 10^{-4}$ mbar
He tüketimi, build process	4 l/h

Elektron ışını ile ergütme metodunda bazı tipik özellikler mevcuttur. Üretilen parça yarı-sinterlenmiş bir destek yapının içinde üretilir. (Bakınız Şekil-4).



Şekil 4

Üretim, belirlenen katman kalınlığı kadar toz tabakasının başlangıç tablasına serilmesi ile başlatılır. Elektron ışını ile üretim metodunda kullanılan malzemenin iletken olması gerekmektedir. Düşük akım ve kısmen yüksek tarama hızı ile metal tozu sinterleyerek, ışın demetinin toz katmanına çarpmasının ardından oluşacak toz bulutunu engellemek amacı ile ön ısıtma işlemi uygulanır. Daha sonra, aynı katman elektron demeti ile taranarak “ergime” işlemi belirlenen katman geometrisi verileri ile gerçekleştirilir. Parça üretim planlamasında varsa destek elemanları “wafer” işlemiyle oluşturulur ve son olarak, kafes yapı geometrileri varsa “ağ” işlemi uygulanır. Metal toz katmanında ergitme işlemi bitirildiğinde üretim tablasının katman kalınlığında aşağı inmesi ile yeniden toz katmanı serilerek bu işlem nihai parça tamamlanana kadar sürdürülür. Üretim tamamlandığında haznedeki mevcut He basıncı artırılarak parçanın elektrik yüklenmesi engellenir ve bu basınç artışı sayesinde ısı iletimi ile parça da soğutulmuş olur [9].

#### 4. Deneysel Prosedür

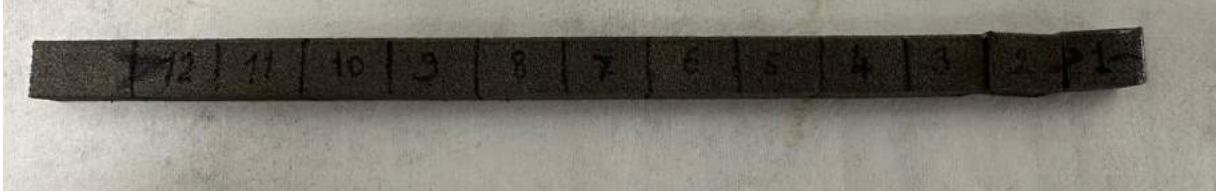
M1 ve M2 numuneleri için aynı üretim parametreleri ve eşzamanlı olarak üretim gerçekleştirilmiştir. Ancak bu numunelerin tabladaki konumları farklıdır. Numunelere ilgili kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. Aşındırıcı olarak  $Al_2O_3$  ve 180, 320, 500, 800 ve 1200 grit zımpara kullanılmıştır ve daha sonra numuneler parlatılmıştır. Numuneler EDM ile kesildiğinden dolayı 320 numaralı zımpara kâğıdından başlanmıştır. Numune dağlama işlemi için Keller kimyasalı kullanılmıştır.

Üretilen numunelerin görüntüleri Şekil-5 ve Şekil-6’da sunulmuştur. Numuneler gerekli incelemelerin yapılabilmesi için 1 den 13 e kadar eşit aralıklara bölünmüştür.





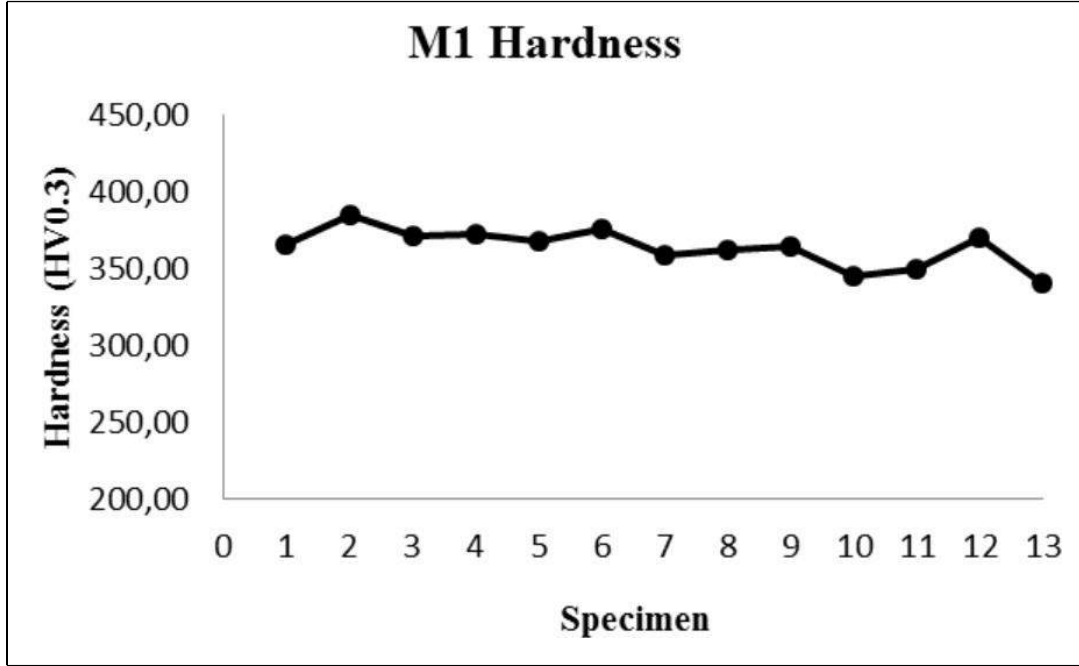
**Şekil 5 Numune Görüntüleri**



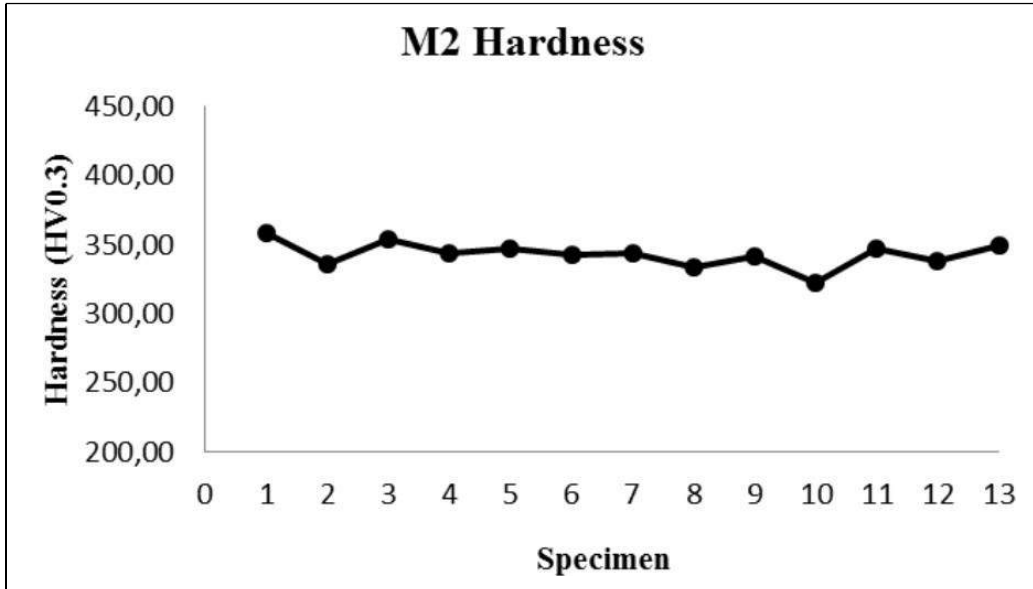
**Şekil 6 Numune Görüntüleri**

## **5. Sonuçlar ve Değerlendirme**

Öncelikle üretilmiş 26 adet numuneye Vickers sertlik ölçümü gerçekleştirildi. Üretim yüksekliği boyunca yapılan sertlik ölçümlerinde yükseklik boyunca büyük bir değişim gözlemlenmemiştir. Ortalama sertlik değerleri M1 numunesinin 363.55 HV M2 numunesinin 342.74 HV olarak bulunmuştur.

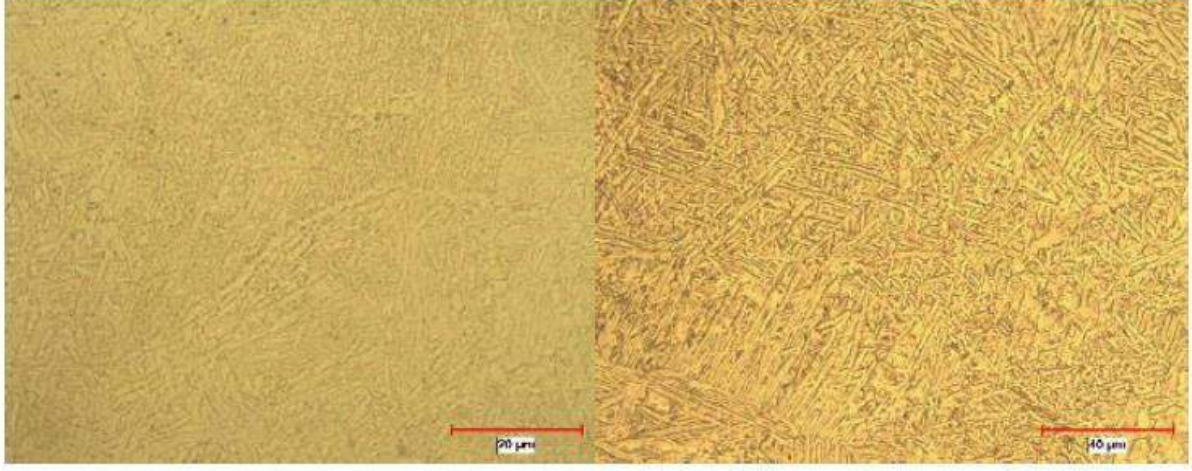


Şekil 7 M1 numunesinin Sertlik Değerleri

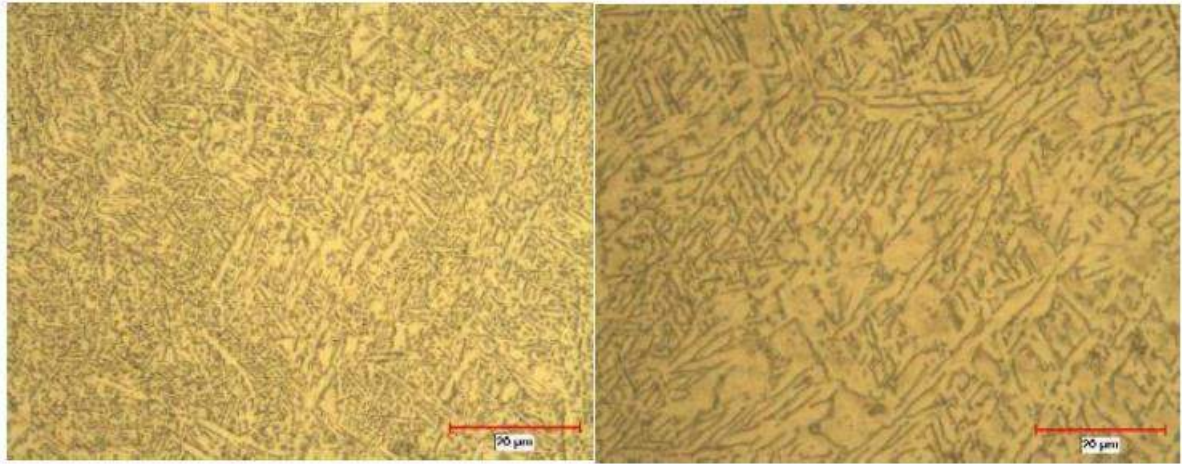


Şekil 8 M2 Numunesinin Sertlik Değerleri

İkinci olarak 26 adet numunenin mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan inceleme sonrasında, numunelerin yüksekliği ve üretim yönü boyunca mikroyapılarında ve fazlarda değişiklik gözlenmiştir. Şekil-9 ve Şekil-10 da numunelere ait mikroyapı görüntüleri sunulmuştur.



Şekil 9 M1-1 and M1-13 e ait numune mikroyapı görüntüleri



Şekil 10 M2-1 and M2-13 e ait numune mikroyapı görüntüleri

Farklı yüksekliklerde hem tane boyutunda hem de kafes kalınlıklarında değişiklik gözlenmiştir. Öncül beta fazı üretim yüksekliği artıka azaldığı gözlenmiştir. Bu çalışmada referans değerler olarak aşağıdaki özellikler ölçülmüştür.

Özellik	Değer
---------	-------

---

Ortalama alfa çita kalınlığı	1.4 µm
Maksimum Çekme Dayanımı	1070 MPa( ± 45 MPa)
Akma Dayanımı	1000 MPa( ±40 MPa)
Uzama	%11 (± %1)

Sonuç olarak yapılan ölçümler sonucunda bulunan faz ve alfa çita kalınlığında üretim yüksekliğine göre farklılık gözlemlenmiştir. Özellikle Bu değişim tabla yükseliği referans alınarak 60 mm den sonra etkin olduğu bu ölçünün altında belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Özellikle tabladan daha uzak yerlerde soğuma daha hızlı gerçekleştiğinden bu bölgelerde daha ince çita kalınlıkları görülmektedir. Bu sebepten dolayı üretilen parça yüksekliğine göre tabla yerleşimine üretim yüksekliklerini temsil eden çekme ve mikroyapı şahit numuneleri eklenmesi önem arz etmektedir.

## 6. Referanslar

1. Peters, M., ve Leyens, C. (Editörler). (2003). Titanium and titanium alloys: fundamentals and applications. Darmstadt: Wiley Online Books, 1-36.
2. Boyer R., Collings E.W. ve Welsch G. (Editörler). (1994). Materials Properties Handbook: Titanium Alloys. Amerika: ASM International, 287-291.
3. Trtica, M., Radak, B., Gakovic, B., Milovanovic, D., Batani, D., ve Desai, T. (2009). Surface modifications of Ti6Al4V by a picosecond Nd:YAG laser. Laser and Particle Beams, 27(1), 85-90.
4. Çakır C. ve Ensarioğlu M. C. (2005). Titanyum ve Alaşımlarının İşlenebilirlik Etüdü. Mühendis ve Makine, 46 (546), 36-46.
5. Sing S. L., An J., Yeong W. Y. ve Wiria F. E. (2016). Laser and Electron-Beam Powder-Bed Additive anufacturing of Metallic Implants: A Review on Processes, Materials and Designs, Journal of Orthopaedic Research: Official Publication of the Orthopaedic Research Society, 34(3), 369-385.
6. Bremen S., Meiners W. ve Diatlov A. (2012). Selective laser melting, a manufacturing technology for the future, Laser Technik Journal, 9(2), 33-38.
7. W.R. Hendricks, The Aloha Airlines Accident — A New Era for Aging Aircraft, in: S.N. Atluri, S.G. Sampath, P. Tong (Eds.), Structural Integrity of Aging Airplanes, Springer, Berlin, Heidelberg, 1991: pp. 153–165. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-84364-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-84364-8_11).
8. R. Wanhill, L. Molent, S. Barter, Milestone Case Histories in Aircraft Structural Integrity, in: Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, Elsevier, 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.00847-X>.
9. Galati, M. ve Iuliano, L. (2018). A literature review of powder-based electron beammelting focusing on numerical simulations. Additive Manufacturing. 19, 1–20.

# 13 KAYNAK TEKNOLOJİSİ ULUSAL KONGRE VE SERGİSİ

**TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI ANKARA ŞUBESİ**  
Meşrutiyet Caddesi No:19 Kat: 4-5 06650 - Kızılay/ANKARA  
Tel: (0312) 417 87 14 Faks: (0312) 417 87 81  
e-posta: ankara@mmo.org.tr <http://ankara.mmo.org.tr/>

## EĞİTİM MERKEZİ

Meşrutiyet Caddesi No: 19 Kat: 4  
Kızılay/ANKARA  
Tel: (0312) 417 87 14 -1302-1310-1312)  
[egitim-ankara@mmo.org.tr](mailto:egitim-ankara@mmo.org.tr)

## OSB MESLEKİ DENETİM BÜROSU

Uzay Çağı Caddesi No: 76  
Ostim / ANKARA  
Tel: (0312) 386 20 82  
[teknik-ankara@mmo.org.tr](mailto:teknik-ankara@mmo.org.tr)

## MESLEKİ YETERLİLİK BELGELENDİRME BİRİMİ

Uzay Çağı Caddesi No: 76  
Ostim / ANKARA  
Tel: (0312) 386 20 82  
[pbk-ankara@mmo.org.tr](mailto:pbk-ankara@mmo.org.tr)

## ASANSÖR KONTROL MERKEZİ

Sümer 2 Sokak No: 36/1  
Kızılay / ANKARA  
Tel: (0312) 231 46 10 -11-12-13-14  
[km-ankara@mmo.org.tr](mailto:km-ankara@mmo.org.tr)

## DOĞALGAZ BİRİMİ

Sümer 2 Sokak No: 36/1  
Kızılay / ANKARA  
Tel: (0312) 231 46 10 - 15  
[ankara.baca@mmo.org.tr](mailto:ankara.baca@mmo.org.tr)

## KIRIKKALE İL TEMSİLCİLİĞİ

Yaylacık Mah. Ulubatlı Hasan Caddesi  
Sözdinler Apt.  
No: 10/1 KIRIKKALE  
Tel/Faks: (0318) 224 50 01