



tmmob
makina mühendisleri odası

VI. ENERJİ VERİMLİLİĞİ KONGRESİ

BİLDİRİLER KİTABI

ÜRETİMDEN TÜKETİME ENERJİ VERİMLİLİĞİ

17- 18 KASIM 2023 / KOCAELİ

17-18 KASIM 2023 – KOCAELİ

VI. ENERJİ VERİMLİLİĞİ KONGRESİ



tmmob
makina mühendisleri odası

tmmob
makina mühendisleri odası

Meşrutiyet Cad. No:19 Kat: 6-7-8
Kızılay / ANKARA
Tel: +90 (312) 425 21 41 / 444 8 666
Faks: (312) 417 86 21
e-posta: mmo@mmo.org.tr
<http://www.mmo.org.tr>

Yayın No : E/MMO/749
ISBN : 978-605-01-1606-9

Bu yapının yayın hakkı Makine Mühendisleri Odası'na aittir. Kitabın hiçbir bölümü değiştirilemez. MMO'nun izni olmadan kitabın hiçbir bölümü elektronik, mekanik vb. yollar ile kopya edilip kullanılamaz. Kaynak gösterilmek kaydı ile alıntı yapılabilir.

Aralık 2023 / ANKARA



SUNUŞ

Enerjiden yararlanmak modern çağın gereği ve temel bir insan hakkıdır. Enerjinin tüm tüketicilere yeterli, kaliteli, sürekli, düşük maliyetli ve güvenilir bir şekilde sunulması, temel enerji politikası olmalıdır. Enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve satışına kadar sürecin tüm aşamalarında çevreye, iklime ve doğaya olumsuz etkileri asgari düzeye indirilmeli ve toplum yararı gözetilmelidir.

2007 yılından günümüze kadar gerçekleşen 5 adet Enerji Verimliliği Kongresi'nde de belirtildiği üzere, bugün dünyamız enerji savaşlarına sahne olmaktadır. Enerji savaşı; Ortadoğu, Rusya Federasyonu ve Balkanların çevrelediği ülkemizin bulunduğu coğrafyada, enerji savaşlarının doğrudan ve dolaylı sonuçları en sıcak haliyle hissedilmekte, bu sürecin yansıması olan ekonomik krizin yıkıcı etkileri ülkemizi ve yurtttaşlarımızı fazlasıyla olumsuz yönde etkilemektedir.

Enerji verimliliği ise her ülkenin elindeki en önemli enerji kaynağıdır ve toplum yararına enerji politikalarının gerçekleştirilmesinde, en etkin, ucuz maliyetli ve hızlı sonuç verecek yöntemdir.

Bütün dünyada enerji verimliliği; ekonomik büyümenin sağlanması, enerji arz güvenliğinin temini, iklim değişikliğinin yıkıcı etkilerinin azaltılması gibi bir dizi politika hedefine ulaşmak için önemli bir seçenek olarak değerlendirilmekte ve sağlayabileceği ekonomik ve çevresel faydalar giderek daha açık bir şekilde görülmektedir.

Ayrıca, enerji verimliliği için yapılan yatırımlar, ülkelerin ekonomisine gayri safi milli hasıla artışı ile istihdam artışı sağlamak ve dış ticaret açığını azaltarak doğrudan veya dolaylı birçok katkı sağlamaktadır.

Ülkemizde enerji verimliliğine yönelik yürütülebilecek çalışmalara ilişkin potansiyelin yüksek olduğu bilinmektedir. Bu amaçla; Enerji ve Tabii Bakanlığı koordinasyonunda yürütülen, (2017-2023) kapsamında bina ve hizmet, enerji, ulaştırma, sanayi ve teknoloji, tarım sektörleri ve yatay konular olmak üzere toplam 6 kategoride tanımlanan 55 eylem ile 2023 yılında Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin %14 azaltılmasını hedefleyen ve 2023 yılına kadar kümülatif olarak 23,9 MTEP (Milyon Ton Eşdeğer Petrol) tasarruf sağlanması ve bu tasarruf için 10,9 Milyar ABD Doları yatırım yapılmasını öngören "*Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı*"nı için hedeflenen sürenin sonuna gelmesi ile birlikte sonuçlarını değerlendiriyor olacağız.

Enerji verimliliğini arttırmayı hedefleyen politika ve uygulamaların söylemde kalmayıp, eyleme dönüştürülmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının topluma, çevreye, insana, doğaya saygılı, ekolojik bir yaklaşımla kullanımında artış sağlanması ile ülkemizde birincil enerji tüketiminin azaltılması, fosil yakıtların paylarının düşürülmesi; ülke ekonomisinin gelişimine büyük katkı sağlayacak ve enerjide dışa bağımlılığı aynı oranda azaltacaktır.

Odamız, Gebze Teknik Üniversitesi'nde Üretimden Tüketime Enerji Verimliliği ana teması çerçevesinde gerçekleştireceği VI. Enerji Verimliliği Kongresi'nde, Ülkemizin dört bir yanındaki sektörle ilgili akademisyenleri, uzmanları, kamu ve özel sektör yetkililerini, meslek kuruluşlarını, sektörde ürün ve hizmet üreten firmaları, işletmeleri ve çalışanlarını, meslektaş aday öğrencileri bir araya getirmeyi amaçlayarak, enerji verimliliği bilinci ve faaliyetlerinin geliştirilmesi için önemli bir platform oluşturmayı hedeflemektedir.

TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu



KONGRE KONULARI

Kısaca belirtmeye çalıştığımız amacın içeriğine uygun olarak, aşağıdaki başlıkları sayılı konulu bildirimlerle katılmalarını tüm üyemize, ilgili ve yetkili uzmanlar, kurum ve kuruluşlara duyuruyoruz.

ÜRETİMDEN TÜKETİME ENERJİ VERİMLİLİĞİ

- Enerji Sistemlerinde Verimlilik
- Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği
- Binalarda Enerji Verimliliği
- Sanayide Enerji Verimliliği
- Ulaşım Sektöründe Enerji Tüketiminin Ekonomi Politikası
- Enerji Yönetimi ve ISO 50001
- İşletmelerde Enerji Güvenilirliği / Kapasite Kullanımı
- Enerji Verimliliğinde Otomasyon ve Yazılımlar
- Enerji Verimliliği ve Dijital Dönüşüm
- Enerji Verimliliği Eğitimlerinin Mevcut Durumu ve Geleceği
- Enerji Verimliliği Politikalarının Değerlendirilmesi, Eksiklikleri, Yapılması Gereken Değişiklikler
- İklim Krizi ile Mücadelede Enerji Verimliliği
- Pandemi Dönemlerinin Üretim ve Enerji Verimliliğine Etkileri

DESTEKLEYEN KURULUŞLAR

- 1- T.C. KOCAELİ VALİLİĞİ
- 2- KOCAELİ BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ
- 3- T.C. İZMİT BELEDİYESİ
- 4- KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
- 5- GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
- 6- GEBZE TİCARET ODASI
- 7- SEPAŞ ENERJİ
- 8- TÜPRAŞ
- 9- MAKFED TÜRKİYE MAKİNA FEDERASYONU
- 10- ISS TÜRKİYE
- 11- IZODER ISI SU SES ve YANGIN YALITIMCILARI DERNEĞİ

KONGRE DÜZENLEME KURULU

Oğuz TÜRKİYILMAZ	MMO GENEL MERKEZ
Deniz Alp YILMAZ	MMO GENEL MERKEZ
Vahap UĞURLUDEMİR	ADANA ŞB.
İzzet SEFERBEYOĞLU	ANKARA ŞB.
Devrim KILIÇ	ANTALYA ŞB.
Koray VATANSEVER	BURSA ŞB.
Ali PALA	DENİZLİ ŞB.
İbrahim Semih OKTAY	DİYARBAKIR ŞB.
Emine Pınar KESKİN	EDİRNE ŞB.
Görkem OKUTAN	ESKİŞEHİR ŞB.
Sultan Büşra ARTAŞ	GAZİANTEP ŞB.



Tülay BURSALIOĞLU	İSTANBUL ŞB.
Arslan Çağlayan GÜREL	İZMİR ŞB.
Murat KARASAKAL	KAYSERİ ŞB.
Mehmet Ali ELMA	KOCAELİ ŞB.
Onur ÖZTÜRK	KOCAELİ ŞB.
Yasin ÇELİK	KOCAELİ ŞB.
Sercan DOĞAN	KONYA ŞB.
L. Gaye KULAKOĞLU	MERSİN ŞB.
Yaşar BAŞ	SAMSUN ŞB.
Fulya BANKOĞLU	TRABZON ŞB.
Melih BAŞÖREN	ZONGULDAK ŞB.

KONGRE YÜRÜTME KURULU

Alpaslan GÜVEN	Murat KÜREKÇİ
B. Devrim EKER	Nedim KARA
Barış İNCE	Olgun ÖZDEMİR
Cansel OSMANOĞLU	Prof. Dr. İlhan Tekin ÖZTÜRK
Emrah AYDEMİR	Serkan DEMİR
Erol PERÇİN	Sinan YÜCEL
Alpaslan GÜVEN	Taylan ÖZKAN
Fatma Dilek ÖZNUR	Ünal ÖZMURAL
Gültekin KESKİN	Hasan YİTİM
Hasan VENEDİKOĞLU	

KONGRE SEKRETERİ

- Birkan SÜNGÜ MMO Kocaeli Şubesi

KONGRE DANIŞMA KURULU

AHMET COŞKUN	Prof. Dr. SEMİHA ÖZTUNA
AHMET ÇAĞLAR	SEZGİ KOÇAK SOYLU
Ahmet Saim PAKER	ŞENGÜL GÜVEN
ALİ BOLATTÜRK	TÜLİN KESKİN
AYLA DOĞAN	Prof. Dr. YÜCEL ÖZMEN
Azmi BAKDUR	ZİYA HAKTAN KARADENİZ
BENGİ ŞANLI	Prof. Dr. NECDET ALTUNTOP
BÜLENT İLLEEZ	ORHAN AYTAÇ
CENGİZ ATAMAN	ÖMER ALTAN DOMBAYCI
EYLEM YILMAZ ULU	ÖNER ATALAY
FATİH YAŞA	Doç. Dr. Özge ALTUN
Prof. Dr. L. Berrin ERBAY	Doç. Dr. ÖZGÜR BAYER
MUHARREM HİLMİ AKSOY	Prof. Dr. SELAHADDİN ORHAN AKANSU
Prof. Dr. MUSTAFA ACAR	Muzaffer BAŞARAN



VI. ENERJİ VERİMLİLİĞİ KONGRESİ PROGRAMI 17-18 Kasım 2023

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ – Gebze / KOCAELİ

17 Kasım 2023 – Cuma

09:00 - 10:00	KAYIT	13:10 - 14:00	ÖĞLE YEMEĞİ
09:00 - 10:00	AÇILIŞ KONUŞMALARI	14:00 - 15:20	II. OTURUM
Mehmet Ali ELMA TMMOB Makina Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi Başkanı		Oturum Başkanı Mehmet Ali ELMA - TMMOB MMO Kocaeli Şube Yönetim Kurulu Başkanı	
Yunus YENER TMMOB Makina Mühendisleri Odası Başkanı		Oturum Ana Konusu ELEKTRİK ENERJİSİNİN GELECEĞİ VE DEPOLANMASI	
Abdurrahman ASLANTAŞ (Teşrifleri Halinde) Gebze Ticaret Odası Yönetim Kurulu Başkanı		AKILLI ŞEBEKELERDE ENERJİ SİSTEMLERİNİN GELECEĞİ Dr. Barbaros BATUR - Yıldız Teknik Üniversitesi Muammer AKGÜN - MMO İstanbul Şube Dr. M. Cem ÇELİK - Marmara Üniversitesi	
Prof.Dr. Hacı Ali MANTAR (Teşrifleri Halinde) Gebze Teknik Üniversitesi Rektörü		ENERJİ SEKTÖRÜNDE DİJİTAL YÖNETİM SİSTEMLERİ, ENERJİ PİYASASINDAKİ YAPAY ZEKA DESTEKLİ UYGULAMALAR VE GELECEĞİ Salman YÜKSEL - HITSOFT Satış ve İş Geliştirme Direktörü Bülent BEDİR - HITSOFT Ar-Ge	
Prof. Dr. Nuh Zafer CANTÜRK (Teşrifleri Halinde) Kocaeli Üniversitesi Rektörü		POMPALI DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SANTRALLAR Muzafer BAŞARAN - TMMOB MMO İstanbul Şube Enerji Komisyonu	
Doç.Dr. Tahir BÜYÜKAKIN (Teşrifleri Halinde) Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Başkanı		BATARYALI ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ Mutlu BEKTAŞ - TMMOB EMO Samsun Şube Enerji Komisyonu	
Seddar YAVUZ (Teşrifleri Halinde) Kocaeli Valisi			
(Plaket Takdimi-Sergi Alanı Açılışı)			
11:20 - 11:30	ARA	15:20 - 15:30	ARA
11:30 - 13:10	I. OTURUM	15:30 - 17:30	PANEL
Oturum Başkanı Olgun ÖZDEMİR - Kongre Yürütme Kurulu Üyesi		KALKINMA VE ENERJİ EKONOMİSİ	
Oturum Ana Konusu ENERJİ VERİMLİLİĞİ POLİTİKALARI VE İKLİM KRİZİ		Panel Yöneticisi Yunus YENER TMMOB MMO Yönetim Kurulu Başkanı	
TÜRKİYE ULUSAL ENERJİ VERİMLİLİĞİ EYLEM PLANI 2017-2023 MEVCUT DURUMU VE ÖNERİLER Bülent İLLEEZ - TMMOB MMO İzmir Şubesi Enerji Verimliliği Komisyonu, Sebahat SERİNTMMOB MMO İzmir Şubesi Enerji Verimliliği Komisyonu		Adnan DALGAKIRAN MAKFED Yönetim Kurulu Başkanı	
İKLİM KRİZİNİN AZALTILMASINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ Muammer Akgün TMMOB MMO İstanbul Şube Kazan ve Basınçlı Kaplar Komisyonu		Yılmaz BAYRAKTAR KALDER Yönetim Kurulu Başkanı	
TÜRKİYE'DE SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMADA ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE ETKİN TEKNOLOJİLERİN ÖNEMİ Prof.Dr.Hüseyin ŞALVARLI TMMOB MMO İzmir Şubesi Enerji Verimliliği Komisyonu		Özgür GÖRBÜZ EKOSFER Derneği Yönetim Kurulu Üyesi	
ISO 50001:2018 ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİNİN ÖNEMİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARINDAKİ ETKİSİNİN ANLAŞILMASI Zekiye AYDEMİR-HELİZA Sistem ve Mühendislik Hizmetleri		Orhan AYTAÇ TMMOB MMO Enerji Çalışma Grubu Üyesi	
ISO 50001 ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİNDE ÖNEMLİ ENERJİ KULLANICILARIN BELİRLENMESİ Abdülkadir ÖZDABAK GKL Teknik Demir Çelik Enerji Ürünleri İç ve Dış Tic. Ltd. Şti.			



18 Kasım 2023 – Cumartesi

09:30 - 10:30	III. OTURUM
Oturum Başkanı Baş İNCE - Kongre Yürütme Kurulu Üyesi	
Oturum Ana Konusu KAMUDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ	
SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ STRATEJİSİ ÇALIŞMALARINA YÖNELİK SANAYİ BÖLGESİNDEKİ ÜNİVERSİTE BİNASININ ENERJİ-EKSERJİ YAKLAŞIMIYLA VERİMLİLİĞİN İNCELENMESİ Dr. Hikmet BAL-OSTİM Teknik Üniversitesi Dr. Zeliha Şahin Çağlı-OSTİM Teknik Üniversitesi Dr. Baran Uslu-OSTİM Teknik Üniversitesi	
İZMİR BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ ESHOT GENEL MÜDÜRLÜĞÜ ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÇALIŞMALARI Okan ULAY ESHOT Genel Müdürlüğü Enerji ve Çevre Yönetimi Şube Müdürü	
İÇME SUYU VE ATIK SU POMPALARINDAKİ HİDROLİK ÇÖZÜMLERİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ Bahattin VARDAR-İZSU, Aktan AKARSU-İZSU	
10:30 -10:40	ARA
10:40 -12:20	IV. OTURUM
Oturum Başkanı Pınar KESKİN - Kongre Düzenleme Kurulu Üyesi	
Oturum Ana Konusu BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ	
TÜRKİYE VE AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİNDE BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ STRATEJİLERİ Timur DİZ-İZODER, Yiğit Kaan AKTAŞ-İZODER, Beyza TANYOL-İZODER	
BİNALARDA ENERJİ PERFORMANS YÖNETİMİ VE NSEB Sefa KELEŞ - Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı	
KENTSEL DÖNÜŞÜMDE ENERJİ ETKİNLİĞİ: ZEYTİNBURNU - SAHİL PARK PROJESİ ÖRNEĞİ Şaziye Merve ARSLANKAYA -Kocaeli Bölme ve Anıtlar Müdürlüğü Ş. Filiz AKŞİT İstanbul Teknik Üniversitesi	
TÜRKİYE'NİN ENERJİ PROFİLİ VE BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ Prof. Dr. İbrahim Uzun-EPİS EPS Sanayi Derneği Arş. Gör. Türker Akkoyunlu-Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makina Bölümü	
SANAYİ YAPILARINDA YALITIM Bengül Böke DİZ-ODE Yalıtım	
12:20 -13:10	ÖĞLE YEMEĞİ
13:10 -14:30	V. OTURUM
Oturum Başkanı Prof. Dr. İlhan Tekin ÖZTÜRK	
Oturum Ana Konusu ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARI	
GÜÇ AKTARMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARI Hasan Basri KAYAKIRAN-EMF Motor YK Başkanı, Makfed Türkiye Makina Federasyonu YK Üyesi ve Enosad Endüstriyel Otomasyon Sanayiciler Derneği Başkan Yardımcısı	
RAFİNERİLERDE ENERJİ SANTRALLERİNİN OPTİMİZASYONU Ziya GÜRÜN-Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü	

KAZANLARDA DÜŞÜK NOX'LU YANMA İÇİN FGR VE BURNER REVİZYONU İrem NOYAN-TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi	
BASINÇLI HAVA SİSTEMLERİNDE HAVA KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ÖLÇÜM ANALİZLERİ Ahmet Faruk FIRAT-Festo Otomasyon, Teknoloji Merkezi Dr. Çiğdem GÜNDOĞAN TÜRKER-Değişim Akademi	
14:30 -14:40	ARA
14:40 -16:20	VI. OTURUM
Oturum Başkanı İbrahim Semih OKTAY - Kongre Düzenleme Kurulu Üyesi	
Oturum Ana Konusu ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ	
VOLANLI ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ Dr. Haydar KEPEKÇİ-İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü	
TERMAL DEPOLAMA YÖNTEMLERİ Dr. Öğr. Üyesi Cemil KOYUNOĞLU-Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü	
ESNEK ENERJİ DEPOLAMA VE DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİ Dr. M. Cem ÇELİK-Marmara Üniversitesi Dr. Barbaros BATUR-Yıldız Teknik Üniversitesi, Muammer AKGÜN-TMMOB MMO İstanbul Şube Kazan ve Basınçlı Kaplar Komisyonu	
YAKIT HÜCRELERİ VE ENERJİ DEPOLAMA (YHED) Ahmet Saim PAKER-TMMOB MMO İstanbul Şube Enerji Komisyonu	
BASINÇLI HAVA ENERJİ DEPOLAMA (BHED) Ahmet Saim PAKER-TMMOB MMO İstanbul Şube Enerji Komisyonu	
16:20 -16:30	ARA
16:30 -17:50	VII. OTURUM
Oturum Başkanı Serkan DEMİR - Kongre Yürütme Kurulu Üyesi	
Oturum Ana Konusu İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ	
TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPALI RADYANT ISITMA SİSTEMİNDE ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ Ahmet DOĞAN-Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Nurullah KAYAÇI-Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Hakan DEMİR-Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü Kazan ve Basınçlı Kaplar Komisyonu	
SÜREKLİ ISITMA ÖZELLİĞİ OLAN VRV SİSTEMİ İLE STANDART ISI POMPASI ÖZELLİKLİ VRV SİSTEMİNİN ENERJİ TÜKETİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI Ferhat DAMARHAN- Metkan Mühendislik ve İklimlendirme Sistemleri Dış Tic. A. Ş. , Prof. Dr. İlhan Tekin ÖZTÜRK-Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü	
SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ Arş. Gör. Servet Giray HACİPAŞAOĞLU-Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Prof. Dr. İlhan Tekin ÖZTÜRK-Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü	
SOĞUTMA KULELERİNDE BULUNAN AKSİYEL FANLARIN ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ Cemal ÇETİN-EKOSMART	
KONGRE GENEL DEĞERLENDİRMESİ Taylan ÖZKAN TMMOB MMO Kocaeli Şube Yönetim Kurulu Sekreteri	

İçindekiler
Sunuş 3
Kongre Konuları 4
Destekleyen Kuruluşlar 4
Kongre Düzenleme Kurulu 4
Kongre Yürütme Kurulu 5
Kongre Sekreteri



Kongre Danışma Kurulu	5
VI. Enerji Verimliliği Kongresi Programı	6
Türkiye Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023	10
İklim Krizinin Azaltılmasında Enerji Verimliliği	20
Türkiye'de Sürdürülebilir Kalkınmada Enerji Verimliliği Ve Etkin Teknolojilerin Önemi	31
Iso 50001 Enerji Yönetim Sisteminin Önemi Ve Enerji Verimliliği Uygulamalarındaki Etkisinin Anlaşılması	41
Iso 50001 Enerji Yönetim Sisteminin Gerekliliği	42
Iso 50001 Enerji Yönetim Sisteminde Önemli Enerji Kullanıcılarının Belirlenmesi.....	47
Akıllı Şebekelerde Enerji Sistemlerinin Geleceği.....	55
Pompalı Depolamalı Hidroelektrik Santraller	65
Bataryalı Enerji Depolama Sistemleri.....	77
Sürdürülebilir Enerji Stratejisi Çalışmalarına Yönelik Sanayi Bölgesindeki Üniversite Binasının Enerji-Ekserji Yaklaşımıyla Verimliliğin İncelenmesi	82
Eshot Genel Müdürlüğü Enerji Verimliliği Çalışmaları	93
İçme Suyu Ve Atık Su Pompalarındaki Hidrolik Çözümlerin Enerji Verimliliğine Etkisi	97
Türkiye Ve Avrupa Birliği Ülkelerinde Binalarda Enerji Verimliliği Stratejileri.....	99
Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği Ve Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar	104
Kentsel Dönüşümde Enerji Etkinliği: Zeytinburnu - Sahilpark Projesi Örneği.....	112
Türkiye'nin Enerji Profili Ve Binalarda Enerji Verimliliği	123
Sanayi Yapılarında Yalıtım	135
Güç Aktarma Sistemlerinde Enerji Verimliliği Uygulamaları.....	142
Rafinerilerde Enerji Santrallerinin Optimizasyonu	154
Endüstriyel Kazanlarda Fgr Revizyonu	168
Basınçlı Hava Sistemlerinde Hava Kalitesini Etkileyen Faktörlerin Ölçüm Analizleri.....	173
Volanlı Enerji Depolama Sistemleri.....	181
Termal Depolama Yöntemleri.....	188
Esnek Enerji Depolama Ve Dönüşüm Sistemleri.....	203
Yakıt Hücreleri Ve Enerji Depolama (Yhed)	212
Sürekli Isıtma Özelliği Olan Vrv Sistemi İle Standart Isı Pompası Özellikli Vrv Sisteminin Enerji Tüketimlerinin Karşılaştırılması	22
Soğutma Sistemlerinin Enerji Verimliliği Açısından İncelenmesi.....	21
Soğutma Kulelerinde Bulunan Aksiyel Fanların Enerji Verimliliği Üzerindeki Etkisi.....	36



tmmob
makina mühendisleri odası

17-18 KASIM 2023 – KOCAELİ

V I . E N E R J İ V E R İ M L İ L İ Ğ İ K O N G R E S İ



tmmob
makina mühendisleri odası

TÜRKİYE ULUSAL ENERJİ VERİMLİLİĞİ EYLEM PLANI 2017-2023 MEVCUT DURUMU VE ÖNERİLER

İlleez Bülent

Mak.Yük.Müh.

TMMOB MMO İzmir Şubesi Enerji Verimliliği Komisyonu

bulentilleez@gmail.com

ÖZET

2017-2023 yılları arasında uygulanacak Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı kapsamında bina ve hizmetler, enerji, ulaştırma, sanayi ve teknoloji, tarım ve yatay konular olmak üzere toplam 6 kategoride tanımlanan 55 eylem ile 2023 yılında Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin %14 azaltılması hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, 2023 yılına kadar 10,9 milyar ABD doları yatırım yapılması ve kümülatif olarak 23,9 MTEP tasarruf sağlanması öngörülmüştür. Bu bildiri ile 2023 yılının son aylarına gelinen bu zamanda UEVEP kapsamında bazı hedeflere ulaşılma seviyesi değerlendirilerek önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Enerji, Enerji Yönetimi, Enerji Verimliliği, Enerji Verimliliği Politikaları, Enerji Tasarrufu,

TURKEY NATIONAL ENERGY EFFICIENCY ACTION PLAN 2017-2023

CURRENT STATUS AND RECOMMENDATIONS

İlleez Bülent, Certificated Mechanical Engineer.

Sebahat Serin, Mechanical Engineer.

TMMOB Chamber of Mechanical Engineers İzmir Energy Efficiency Commission

bulentilleez@gmail.com

sebahatserin49@gmail.com

ABSTRACT

Within the scope of the National Energy Efficiency Action Plan to be implemented between 2017 and 2023, it is aimed to reduce Turkey's primary energy consumption by 14% in 2023 with 55 actions defined in a total of 6 categories: buildings and services, energy, transportation, industry and technology, agriculture and horizontal issues. In line with this target, it is envisaged to invest 10.9 billion US dollars and achieve cumulative savings of 23.9 MTEP by 2023. With this report, as we reach the last months of 2023, the level of achievement of some of the targets within the scope of UEVEP has been evaluated and suggestions have been made.

Key Words : Energy, Energy Management, Energy Efficiency, Energy Efficiency Policy, Energy Saving

1. GENEL

Enerji ihtiyacı tüm dünyada olduğu gibi Türkiyede de gelişime paralel olarak yıllar geçtikçe artan kişi başına düşen enerji miktarı ve bu artışı katlayan nüfus büyümesi ile de büyük bir ivmeyle büyümüş ve büyümektedir. Ülkemizde geçmiş yıllarda bu şekilde artan ihtiyaca karşılık sürekli olarak yeni enerji arzı ile karşılanmaya çalışılan bir politika izlenmiş olup maalesef ki dağıtım ve kaçaklarla birlikte %18 'e varan kayıplar ve nihai sektörlerde verimsiz kullanımdan



dolayı %50 nin üzerine çıkabilen enerji tasarruf imkanları da dikkate alınamamıştır. Ayrıca bu ihtiyaç öz kaynaklarımızla karşılama imkanı ve olanakları değerlendirilememiş ve bu sayede de dışa bağımlılığımız önemli ölçüde artmıştır.

Ancak buna karşılık olarak 02 Mayıs 2007 tarihinde Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ve buna paralel çıkartılan yönetmelik ve tebliğ ve strateji mevzuat ve düzenlemeler ile önemli bir aşama kaydedilmiştir. Bu kanun ve beraberinde getirilen yasal düzenlemeler ile öncelikli olarak yüksek oranlara sahip enerji tasarruf imkânlarının karşılanarak enerji yükünün azaltılması ve verimliliğin sürekli hale getirilmesi sonra ülkemizin oldukça zengin olduğu başta yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere yeni üretim kaynakları ve tesisleri yapılması ile enerji ihtiyacımızın karşılanması ve dışa bağımlılığımızın karşılanması yönünde önemli bir başlangıç yapıldığı görülmektedir.[1]

2004 yılından beri çıkarılan kanun, yönetmelik ve tebliğ, genelge ve strateji belgesi vb. mevzuat Tablo-2'de gösterilmektedir. Bu mevzuat tarih sırasıyla bakıldığında başta Nisan 2004 Enerji Verimliliği Stratejisi ile 02 Mayıs 2007 de yürürlüğe giren 5627 Sayılı Enerji Verimliliği kanunundan sonra Türkiye de, enerji verimliliğine yönelik birçok kanunsal önlemler , yasal zorunluluk haline getirilmemiş eylemler ve uluslararası çapta finanse edilen programlar gerçekleştirilmiştir. Bugüne gelindiğinde Türkiye 'de oluşturulan Enerji Verimliliği Politikalarının oldukça kapsamlı olduğu ve 2007 yılı Enerji Verimliliği Kanunu, 2012 Enerji Verimliliği Strateji Planı ve ilgili düzenlemeler temel alınarak, aşamalı şekilde Avrupa Birliği Enerji Verimliliği yapısına uyumlu hale gelecek güçlü bir mevzuat ve politika çerçevesine sahip olduğu veya eksiklerin kolaylıkla karşılanabileceği söylenebilir.

Tablo-1 : UEVEP 2017-2023 'e kadar Türkiye Enerji Verimliliği İle İlgili Mevzuatı [5]

MEVZUAT	Resmi Gazete Tarihi	Resmi Gazete Sayısı
Tanıtma ve Kullanma Kılavuzu Uygulama Esaslarına Dair Yönetmelik	14.06.2003	25138
Enerji Verimliliği Strateji Belgesi	Nisan 2004	
Ev Tipi Klimaların Enerji Etiketlemesine İlişkin Yönetmelik	14.12.2006	26376
5627 SAYILI ENERJİ VERİMLİLİĞİ KANUNU	02.05.2007	26510
Ev Tipi Klimaların Enerji Etiketlenmesine İlişkin Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik	11.06.2007	26549
Tanıtma ve Kullanma Kılavuzu Uygulama Esaslarına Dair Yönetmelikte Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik	08.10.2007	26667
2008 Enerji Verimliliği Yılı ile İlgili Başbakanlık Genelgesi(2008-2)	15.02.2008	26788
Merkezi Isıtma ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isınma ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılmasına İlişkin Yönetmelik	14.04.2008	26847
Sıvı ve Gaz Yakıtlı Yeni Sıcak Su Kazanlarının Verimlilik Gereklere Dair Yönetmelik	05.06.2008	26897
Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik	09.06.2008	26901
Kamuda Akkor Lambaların Değiştirilmesi ile İlgili Başbakanlık Genelgesi(2008-19)	13.08.2008	26966



2008 Enerji Verimliliği ile İlgili Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Genelgesi(2008-1)	16.09.2008	
Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği	05.12.2008	27075
Millî Eğitim Bakanlığına Bağlı Okullarda Enerji Yöneticisi Görevlendirilmesine İlişkin Yönetmelik	17.04.2009	27203
Ev Tipi Buzdolapları, Derin Dondurucular, Buzdolabı Derin Dondurucular ve Bunların Bileşimlerinin Enerji Etiketlemesine Dair Yönetmelikte (94/2/AT) Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik	21.05.2010	27587
Küçük ve Orta Ölçekli Sanayi Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı(KOSGEB) Destekleri Yönetmeliği	15.06.2010	27612
Enerji İle İlgili Ürünlerin Çevreye Duyarlı Tasarımına İlişkin Yönetmelik	07.10.2010	27722
Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik	20.04.2011	27911
Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik	27.10.2011	28097
ENERJİ VERİMLİLİĞİ STRATEJİ BELGESİ	25.02.2012	28215
Sürdürülebilir Yeşil Binalar İle Sürdürülebilir Yerleşmelerin Belgelendirilmesine Dair Yönetmelik	08.12.2014	29199
Kamu Alımlarında Enerji Verimliliği konulu Genelge	24.11.2015	
26 adet Tebliğ (22.06.2012 -26.07.2017)		

Global düzeyde enerji tüketimine bakıldığında önlem alınmazsa fosil kökenli yakıtların, enerji ihtiyacın büyük hızla artması sebebiyle çevre kirliliği seviyesinin dünya yaşamını tehdit eder hatta geri dönülemez boyutlara gelmesinin ihtimalden çıkıp, gerçekleşecek durumda olduğu görülmektedir. Bu çerçeveden UEA üyesi, OPEC üyesi, gelişmiş ülkeler, gelişmekte olan ülkeler, petrol ve/veya doğalgaz üreten ülkeler veya herhangi bir grupta tanımlanan ülke olması fark etmeksizin ekolojik, ekonomik ve enerji arzı olarak büyük faydaları olan Enerji Verimliliğini her ülke için aynı öneme sahip olmasını mecbur kılmıştır. Artık Enerji Verimliliği ve sağlanacak tasarruf açısından bakıldığında, tüm ülkelerin enerji kaynağı olarak bol miktarda sahip oldukları “tek yakıt “ olarak tanımlanmakta ve değerlendirilmektedir.[2]

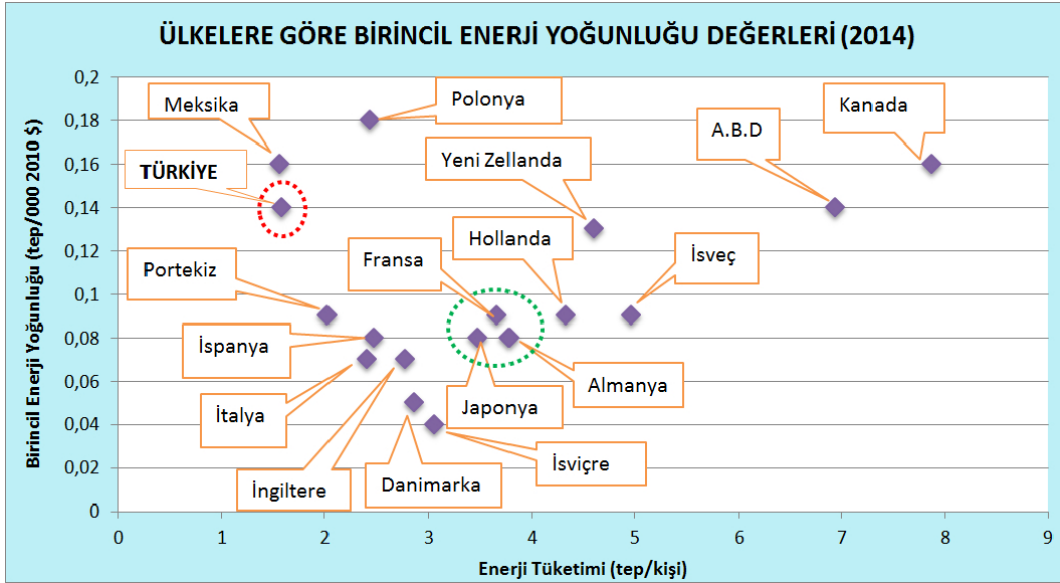
Enerji verimliliği politikalarındaki etkinliği izlemek ve bilgi sahibi olmak için enerji ihtiyacını nelerin etkilediğini açıklamak gereklidir. Bunun için en güvenilir unsurlar olarak nihai kullanım verileri ve göstergeleridir. Bu doğrultuda ülkelerin Enerji Verimliliği olarak ne kadar gelişim sağladığının en önemli göstergelerinden birisi olarak, bir birim Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH) üretmek için tüketilen enerji miktarı olarak tarif edilen Enerji Yoğunluğu kullanılmaktadır. Diğer bir ana sebep ise enerji yoğunluğu göstergesi ülkeler arasında karşılaştırma yapmak ve değerlendirmek için de kolay erişilebilir veri olmasıdır. (UEA 2016) Buna karşılık, bazı durumlarda oldukça düşük enerji yoğunluğuna sahip bir ülke mutlak surette yüksek enerji verimliliği sahiptir anlamına gelmeye bilmektedir. Aynı şekilde, düşük yoğunluğa doğru giden eğilimlerin mutlaka verimlilik iyileştirmeleri sayesinde geliştiği her durum için ifade etmek mümkün olmamaktadır. Örneğin, ılımlı bir iklime ve küçük bir endüstriye sahip bir ülke, enerjisi daha verimli kullanılmış olsa bile, soğuk iklim koşullarında büyük bir endüstri kaynaklı ülkeden daha düşük bir yoğunluğa sahip olacaktır. Enerji Verimliliğinde ülkelerde geline aşamaları değerlendirirken ekonominin yapısı (büyük enerji tüketen endüstrilerin varlığı), ülkenin coğrafi büyüklüğü (ulaştırma sektöründen daha fazla ihtiyaç); genel iklim ve hava değişiklikleri (ısıtma veya soğutma için daha fazla ihtiyaç); döviz kuru, Satın Alma Gücü Paritesi, refah düzeyi ve nüfus değişimleri gibi veriler dikkate alınması gerekebilmektedir (UEA2014b). Bu nedenle, ülkeler arası karşılaştırmalarda nihai enerji tüketim eğilimlerini yönlendiren faktörler hakkında bilgi veren çok daha ayrıntılı analizlerin yapılması önemli ve gerekli olabilmektedir. Ancak ülke içi gelişmeleri değerlendirmelerde nihai enerji tüketim değerlerindeki, GSYİH ve/veya Enerji Yoğunluğu ve kişi başına düşen enerji miktarlarındaki değişimler gibi daha az kategorideki veriler ve daha az sayıdaki analizler oldukça yeterli bilgiler verebilmektedir.

Enerji Verimliliği değerlendirirken ilgili göstergelerin incelenmesinin yanı sıra bu verimliliği sağlamak için gerekli politikaları değerlendirmek aslında daha öncelikli ele almak gerekir. Zira etkin Enerji Verimliliği sağlanabilmesi ancak güçlü Enerji Verimliliği Politikalarını içeren etkin Enerji Yönetimi ile sağlanabilmektedir [2]

Yıllar itibarıyla dünya büyüme rakamlarını ve tahminlerine incelendiğinde 2007 yılından itibaren dünya ortalamasının bile 2011 ve 2012 yılları hariç Türkiye 'deki büyümenin üzerinde olduğu görülmektedir.[3] En yüksek büyüme oranına sahip ülkelerden Çin ve dünya ülkelerinin enerji yoğunluğu değişimine baktığımızda ise büyümeye rağmen Enerji Yoğunluklarında azalma olduğu görülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde Enerji Yoğunluğunda azalma olmadığı zaman sorumlusunun sadece büyüme ile ilgili olmayacağı görülmektedir.

Enerji verimliliği ile enerji yoğunluğu ters yönlüdür. Bir ülkede veya bir sektörde hesaplanan enerji yoğunluğu ne kadar düşüğe, enerji verimliliği o kadar yüksektir. Genel olarak enerji yoğunluğu, ekonominin ilk kalkınma aşamalarında artmakta, ancak gelişmiş ekonomilerde bu oran azalma eğilimindedir. [4] Bir ülkenin gelişmişlik düzeyi, kişi başına enerji tüketimi ve enerji yoğunluğu göstergeleri ile izlenmektedir. Kişi başına enerji tüketiminin yüksek olması, hem ekonominin canlandığı, hem de ülkede ulaşım araçları ile elektrikli aletlerin yaygın kullanıldığı ve yüksek konforlu barınma olanaklarının arttığını gösterir. Enerji yoğunluğunun düşüklüğü ise aynı enerji kullanımıyla daha çok katma değer yaratılması anlamına gelir. Öyleyse bir ülkede enerji açısından gelişmişliğin göstergesi, kişi başına enerji tüketiminin yüksek, enerji yoğunluğunun düşük olmasıdır.[3] Bazı bölge ve ülkeler ile Türkiye'deki enerji yoğunluğu ve kişi başına enerji tüketimlerini karşılaştırmak amacıyla Şekil-9 da belirtilmiştir. Şekildeki bu tablo incelendiğinde bir ülkenin gelişmişlik göstergesi olarak kullanılan kişi başına enerji tüketimi; en yüksek ABD ile Kanada'da görülmektedir. Ancak bu ülkelerde enerji yoğunluğu yüksektir. Bu kapsamda bu ülkeler arasında ise en dikkat çekici olanları ise Fransa, Almanya ve Japonya olarak ele alınabilir. Bu ülkelerin kişi başına düşen enerji miktarları diğer ülkelere nazaran yüksek iken enerji yoğunlukları ise genellikle diğer çoğu ülke enerji yoğunluklarından düşük, dolayısıyla enerji verimliliği daha yüksektir. Türkiye bu ülkeler ile kıyaslandığında kişi başına enerji tüketiminin daha düşük olduğu, enerji yoğunluğunun daha yüksek olduğu görülmektedir

Türkiye bu ülkeler ile kıyaslandığında kişi başına enerji tüketiminin daha düşük olduğu, enerji yoğunluğunun daha yüksek olduğu görülmektedir Bu göstergelerden, Türkiye'de bugüne kadar yapılan çalışmalara rağmen enerji yoğunluğunun hala yüksek kaldığı, dolayısıyla enerjinin verimli kullanılmasında istenilen sonucuna varılmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil-9 : Çeşitli ülkelerin Kişi Başı Enerji Tüketimleri ve Enerji Yoğunlukları

3. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada Türkiye de Enerji Verimliliği çalışmaları 2023 yılı sonunda tamamlanacak olan Türkiye Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023 kapsamında değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler için ise uluslararası bir puan tablosu olan ACEEE American Council for an Energy-Efficient Economy tablosu ve verileri kullanılmıştır.

Uluslararası Enerji Verimliliği Puanlamasına göre , 36 verimlilik ölçütü dikkate alınmakta olup Politika önlemleri ve performans ölçütleri üzerinden puan verilerek, binalar, sanayi, ulaşım ve ulusal çabalar olmak üzere dört kategorinin her birinde 25'e toplamda 100'e kadar puan verilerek değerlendirilmektedir. (Tablo-2)

Tablo-2 : 2018 yılı genelinde Enerji Verimliliği (performans ve politika) puanlama

Ölçüt	Tür	2018 Puan	Türkiye
Ulusal Eylemler (25 Puan)			11,5
2010 ve 2015 yılları arasında enerji yoğunluğundaki değişim	Performans	6	4
Enerji verimliliğine harcama	Politika	5	1
Enerji tasarrufu hedefleri	Politika	3	1
Termik santrallerin verimliliği	Performans	3	2
Vergi kredisi ve kredi programları	Politika	2	1
Enerji verimliliği Ar-Ge'ye harcama	Politika	2	0,5
Enerji hizmet şirketi (ESCO) pazarının büyüklüğü	Performans	2	1
Su verimliliği politikası	Politika	1	0,5
Veri kullanılabilirliği	Politika	1	0,5
Binalar (25 Puan)			16,1
Cihaz ve ekipman standartları	Politika	5	3
Konut bina kodları	Politika	3	2
Ticari bina kodları	Politika	3	2
Güçlendirme politikaları oluşturmak	Politika	4	2
Bina derecelendirmesi ve açıklama	Politika	2	2
Cihaz ve ekipman etiketlemesi	Politika	2	2
Konutlarda enerji yoğunluğu	Performans	3	2,1
Ticari binalarda enerji yoğunluğu	Performans	3	1
Sanayi (25 Puan)			15,5
Sanayi sektörünün enerji yoğunluğu	Performans	6	4
Üreticilerle gönüllü enerji performansı anlaşmaları	Politika	3	3
Enerji yönetimini teşvik eden politika	Politika	2	0



Elektrik motorları için minimum verimlilik standartları	Politika	2	2
Fabrika enerji yöneticiliği zorunluluğu	Politika	2	0,5
Enerji denetimleri zorunluluğu	Politika	2	2
Üretim araştırma ve geliştirme yatırımları (Ar-Ge)	Politika	2	1
Kojenerasyonun toplam kurulu kapasitedeki payı	Performans	2	1
Kojenerasyonu teşvik etme politikası	Politika	2	0,5
Tarım enerji yoğunluğu	Performans	2	1,5
Ulaştırma (25 Puan)			6,5
Hafif Yük Taşıtları için yakıt ekonomisi standartları	Politika	4	0
Hafif yük taşıtlarının yakıt ekonomisi	Performans	3	3
Ağır hizmet tipi traktör kamyonları için yakıt ekonomisi standartları	Politika	3	0
Taşıta başına düşen kilometre	Performans	3	2,5
Ekonomik faaliyet birimi başına yük taşımacılığı	Performans	2	0
Yük taşımacılığının enerji yoğunluğu	Performans	3	1
Toplu taşıma kullanımı	Performans	3	0
Karayolu ve demiryolu taşımaları yatırımları	Politika	3	0
Smart (Akıllı) nakliye girişimleri *	Politika	1	0

Bu puanlama metoduna göre Türkiye 'nin 2017 yılından itibaren puan ve sıralaması aşağıdaki gibidir.

Tablo-3 : 2014,-2022 Türkiye Enerji Verimliliği Puan ve Sıralaması

	Ülkeler	2014 puan	2014 sıralama	2016 puan	2016 sıralama	2018 puan	2018 sıralama	2022 puan	2022 sıralama
1	Avustralya	49	10	41	16	40.5	18		18
2	Brezilya	30	15	32.5	22	36.5	20		19
3	Kanada	50	9	59	10	55.5	10		13
4	Çin	58	5	64	6	59.5	8		9
5	Fransa	61	4	67.5	4	73.5	3		1
6	Almanya	65	1	73.5	1	75.5	1		3 ve 4
7	Hindistan	45	11	48.5	14	50.5	15		16
8	Endonezya	-	-	37.5	18	45	17		17
9	İtalya	64	2	68.5	2	75.5	1		5

10	Japonya	57	6	68.5	2	67	5	7
11	Meksika	29	16	37	19	54	12	14
12	Hollanda	–	–	58	11	65	7	3 ve 4
13	Polonya	–	–	53.5	12	51	14	12
14	Rusya	35	14	38	17	34.5	21	22
15	Suudi Arabistan	–	–	15.5	23	16.5	25	23
16	Güney Afrika	–	–	33	21	23.5	23	24
17	Güney Kore	44	12	61.5	8	52.5	13	11
18	İspanya	54	8	62	7	65.5	6	6
19	Tayvan	–	–	51	13	57	9	8
20	Tayland	–	–	36.5	20	29	22	20 ve 21
21	Türkiye	–	–	46.5	15	50	16	15
22	BAE	–	–	–	–	18	24	25
23	İngiltere	57	6	65	5	73	4	2
24	Ukrayna	–	–	–	–	38	19	
25	ABD	42	13	61.5	8	55.5	10	10

2022 yılı puanlamasına göre Türkiye, **ulusal çabalar** kategorisinde 17. sırada yer almıştır. Enerji verimliliği programlarına ve Ar-Ge'ye yapılan yatırımlar, analiz edilen ülkelerle karşılaştırıldığında nispeten düşük kaldığı görülmektedir. Ancak ülkede verimlilik hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olacak ulusal vergi teşvikleri ve kredi programları bulunmaktadır. Ayrıca Türkiye ESCO pazarı da nispeten büyüktür. Bununla birlikte, termal tesislerinin operasyonel verimliliği düşük olduğundan ve Türkiye'nin su tasarrufu talimatlarını benimseyip su verimliliği programlarını uygulayabilmesinden dolayı hala iyileştirme için birçok fırsat bulunmaktadır.

Türkiye, 2022 yılı puanlamasına göre **binalarda** enerji verimliliğinde 14 puan almıştır. Ülkede 2022 yılı sonunda enerji performans standartları (MEPS) kapsamına giren 20 cihaz grubu bulunmakta olup ancak yalnızca 1 cihaz grubu zorunlu etiketlerin kapsamına alınmış durumdadır. Türkiye'de ayrıca tüm binalar için zorunlu bina etiketleme politikaları bulunmaktadır. Ülkede konut ve ticari binalar için zorunlu inşaat kuralları bulunmaktadır; ancak yeni inşa edilen binaların verimliliğini artırmak için ek teknik gereklilikler getirerek ve mevcut binalar için bina performans standartlarını benimseyerek gelişebileceği değerlendirilmektedir.

Ülkenin **sanayi** sektöründe enerji verimliliğine yönelik cazip teşvikleri olmasına rağmen, Türkiye'de endüstriyel enerji yoğunluğu yüksek olmaya devam ediyor. Türkiye, sanayide enerji verimliliği projelerini ve gönüllü anlaşmaları desteklemek amacıyla 2007 Enerji Verimliliği Kanununu kabul etmiştir. Sanayicilerin enerji yoğunluklarını üç yıllık bir süre içinde ortalama %10 oranında azaltmayı taahhüt etmeleri halinde, Elektrik İşleri Etüt İdaresi ilk yıl enerji maliyetlerinin %20'sini sübvansede etmektedir Türkiye'nin de bir enerji yönetim sistemleri politikası vardır ve zorunlu enerji denetimleri gerektirmektedir. Ülke, büyük endüstriyel tesislerde enerji yöneticilerinin istihdam edilmesine yönelik talimatların yürürlüğe konulmasından, ISO 50001 sertifikalı tesislerin sayısının artırılmasından ve endüstriyel GSYH'ye oranla endüstriyel Ar-Ge yatırımlarının artırılmasından önemli ölçüde fayda göreceği değerlendirilmektedir.



Türkiye'nin ulaşımında hafif ticari araçlarının ortalama yakıt ekonomisi yüksek olmasına rağmen (43,56 mpg), ülkede hafif ticari araçlar için henüz 2025 yakıt verimliliği standartları mevcut değildir. Türkiye'de kişi başına kat edilen araç kilometresi nispeten düşüktür ve ulaşımın nispeten yüksek bir yüzdesi toplu taşıma kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Ülkenin demiryolu yerine karayolu taşımacılığına yaptığı yatırımın iyileştirilmesi, yük taşımacılığının enerji yoğunluğunun iyileştirilmesi ve ağır hizmet araçları için yakıt verimliliği standartlarının benimsenmesi yoluyla daha fazla enerji tasarrufu elde edilebileceği değerlendirilmektedir.[6]

2017 yılından itibaren bina ve hizmetler, enerji, ulaştırma, sanayi ve teknoloji, tarım ve yatay konular olmak üzere toplam 6 kategoride tanımlanan 55 eylem ile Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı uygulamaya girmiştir ve 2023 yılı sonunda tamamlanması planlanmıştır.

Temel Hedef Enerji kaynaklarını ve doğal kaynakları verimli ve çevreye duyarlı şekilde değerlendirerek ülke refahına en yüksek katkıyı sağlamak amacıyla hazırlanan ve uygulanmaya başlanan bu Eylem Planı ile 2017-2023 döneminde Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin kümülatif olarak 23,9 MTEP ile %14 azaltılması hedeflenmiştir.[6,7,8]

Enerji denge tablosuna bakıldığında Türkiye'nin birincil enerji tüketimi 2017 yılında 145,3 MTEP olup 2022 yılında 159,432 MTEP olarak gerçekleşmiş 14,13 MTEP artış olmuştur. [8]

Tablo-4 : UEVEP [6]

YATAY KONULAR			
No	Hedef	Yıl	Durum
1	Enerji Yönetim sisteminin kurulması %80	2019	-
2018 yılında yükümlü bina ve endüstriyel işletme listesi güncellenerek 2019 yılı sonuna kadar uygulama etkinliğine ulaşılacaktır			
2	UEV Finansman Mekanizması kurulması ve uygulamaya geçilmesi	2021	-
2018, 2019 ve 2020 yıllarında mevzuat geliştirilerek 2021 yılında eylemin uygulamasına geçilecektir.			
3	Enerji verimliliği yarışmaları ile projelerin sağladığı enerji ve tasarruf miktarı		
2018-2020 yıllarında yarışmalar için mevzuat ve teknik altyapı hazırlanarak 2021 yılında yarışmalar düzenlenecektir			
4	Enerji Verimliliği Projelerinde Teknik, Hukuki ve Finansal Hususları İçeren Kılavuz, Tip Sözleşme vb. Altlıkların Oluşturulması	2019	
2017 ve 2018 yıllarında ihtiyaç analizi ve mevzuat çalışması yapılarak 2019 yılında eylemin uygulamasına geçilecektir			
5	Enerji Verimliliği Faaliyetlerinde Kayıt, Veri Tabanı ve Raporlama Sistemlerinin Geliştirilmesi	2019	
2017 yılında ihtiyaç analizi yapılarak 2018 yılında geliştirme faaliyetleri tamamlanacak ve 2019 yılında tüm kapsamı ile aktif olarak kullanılabilir			
6	Uluslararası Enerji Verimliliği Finansman İmkânlarının ve Etkinliğinin Artırılması, Koordinasyon ve Kontrolü	2018-2023	



2018 yılı içerisinde gerekli analizler tamamlanarak, kontrol ve izleme metodolojisi tanımlanacak, bu eylem kapsamında yürütülen faaliyetler, gözden geçirme ve ilerleme raporu her yıl, yılsonu itibariyle hazırlanacaktır. (Hazine Müsteşarlığı)			
7	İdari ve Kurumsal Yapılanmanın Güçlendirilmesi (YEGM Güçlendirilmesi)		
İhtiyaç analizi yapılarak gerekli mevzuatsal düzenlemeler ve dönüşüm iki aşamalı olarak 2021 yılına kadar tamamlanacaktır.			
8	Farkındalık, Eğitim ve Bilinçlendirme Faaliyetlerinin Yürütülmesi	2017-2023	
İletişim Stratejisi belirlenerek, geliştirilecek planlamalar çerçevesinde eylemin uygulamasına geçilecektir.			
9	Enerji Verimliliği Etütleri	2019	
2018 yılında kapsam içine giren bina ve endüstriyel işletme envanteri çıkarılarak 2019 yılında eylemin uygulamasına geçilecektir			
10	Kamuda Sürdürülebilir İşletme ve Satın Alma Yaklaşımının Benimsenmesi	2018	
2017 ve 2018 yıllarında mevzuat geliştirilerek 2019 yılında eylemin uygulamasına geçilecektir			
11	Enerji Dağıtım veya Perakende Şirketlerine Yönelik Enerji Verimliliği Yükümlülük Programı		
2018 ve 2019 yıllarında mevzuat ve uygulama altyapısı (katalog, prosedürler vb.) hazırlanacak ve 2020-2022 yıllarında yükümlülük programı uygulamasına geçilecektir.			

Türkiye'nin Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023, enerji verimliliğini artırmak ve enerji tüketimini azaltmak için belirlenen hedefler ve stratejiler içermektedir. Eylem Planında ele alınan konular, hedefler ölçütler mevcut ve uluslararası değerlendirme kriterleri dahilinde değerlendirildiğinde oldukça yeterli ve yerinde olduğu görülmektedir. Ancak Eylem Planı ile belirlenen 2023 yılı sonuna gelindiğinde, veriler hedeflerin planlandığı ölçüde yerine getirilemediğini diğer bir ifade ile Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023'nün genel hedeflere ulaşmada yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu kapsamdaki çalışmalar aşağıdaki başlıklar altında tanımlanmıştır.

Enerji Verimliliği Farkındalık : Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı farkındalığı artırma hedefleri, yapılan birçok kampanyalar, eğitim programları ve bilgilendirme faaliyetleri yoluyla oldukça kapsamlı ve yoğun bilinçlendirme çalışmaları yürütüldüğü görülmektedir. Ancak bu yoğun ve kapsamlı çalışmalara rağmen farkındalıkların yeteri kadar eyleme dönüştürülemediği görülmektedir.

Binalarda Enerji Verimliliği: Eylem Planı, binalardaki enerji verimliliğini artırmak için çeşitli önlemler öngörmektedir. Enerji verimli bina tasarımı, yalıtım standartları ve enerji performansı etiketleme sistemi gibi adımlar atılmıştır. Ancak EKB belgesi uygulamasında olduğu gibi yasal düzenlemeler yapılsa bile uygulanamadığı için önlemler yaygınlaştırılmamış hedeflere ulaşılammıştır.

Endüstriyel Enerji Verimliliği: Endüstriyel sektörde enerji verimliliği için önlemler alınmıştır. Enerji yönetimi sistemlerinin teşvik edilmesi, enerji verimliliği denetimleri ve enerji verimli teknolojilerin benimsenmesi gibi adımlar atılmış VAP destekleri verilmiştir. Ancak yine bu uygulamalar VAP desteklerinin yeterli ve etkin olmaması gibi sebeplerle yaygınlaştırılmamıştır.

Ulaşım Enerji Verimliliği: Ulaşım sektöründe enerji verimliliğini artırmak için çeşitli politikalar ve önlemler uygulanmıştır. Yakıt verimliliği standartları, alternatif yakıtların teşvik edilmesi ve toplu taşıma altyapısının geliştirilmesi



gibi adımlar atılmıştır. Ancak toplu taşıma gibi uygulamalar merkezi yönetimlerden çok yerel yönetimlerin konusu olup bu kapsamda aynı ilgi yaratılamamıştır.

Tarımda ve Diğer Sektörlerde Enerji Verimliliği: Eylem Planı, tarım ve diğer sektörlerde enerji verimliliği için stratejiler içermektedir. Tarımsal sulama sistemlerinin modernizasyonu, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve enerji verimli üretim süreçlerinin teşvik edilmesi gibi adımlar atılmıştır. Ancak ülkemizde tarıma ayrılan bütçe oranına bakıldığında tarımın ne kadar az önemsendiği ortaya çıkmaktadır. Dolayısı ile bu alanda da yeterli eylem alınamamış istenilen hedeflere ulaşılamamıştır.[7,8,9]

4. ÖNERİLER

Yukarıdaki ana başlıklar altında tanımlanan konular kapsamında sorunun kökenine inildiğinde kapsamlı bir eylem planına rağmen hedeflere ulaşılamamasındaki en büyük göstergenin yeterli eylem alınmaması şeklindedir. Bu kapsamda eylem planı değerlendirildiğinde sorunun teknik ve teknolojik, ekonomik değil, yönetsel olduğu görülecektir. Zira enerji verimliliği alanında eylem planlarında, planlama aşamalarında oldukça başarılı olduğu, eğitim ve yetiştirme alanlarında da oldukça yeterli olduğu ancak örgütlenme, koordinasyon başta olmak üzere yöneltme, denetim alanlarında yetersiz kaldığı için yapılan hazırlıkların eyleme dönüşemediği ve hedeflere ulaşılamadığı görülecektir. Nihayetinde Enerji Verimliliği konusu UEVEP içeriğinde de görüleceği gibi sadece Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığının değil tüm bakanlıkların ilgi ve faaliyetleri kapsamına girmektedir. Ancak her bakanlıkta ayrı ayrı çalışmalar yapılmasına rağmen her bir çalışma birbirini etkilediği için bileşke kuvvet haline gelememektedir ayrıca planlanan çalışmalar denetlenememekte ve süreç içinde zamanında ve yeterli önlem alınamamakta veya planlanan önlemler hayata geçirilememektedir.

Aslında bu boşluğu gidermek planın etkinliği sağlamak için planda yer alan kategoriler bazında, yatay konular, bina ve hizmetler, sanayi ve teknoloji, ulaştırma, enerji ve tarım olmak üzere altı adet İzleme ve Değerlendirme Komisyonları oluşturulması öngörülmüştür. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün koordine edeceği bu İzleme ve Değerlendirme Komisyonunda,

- İlgili eylemler altında sorumlu ve ilgili olarak tanımlanmış kurum ve kuruluşlardan uzman düzeyinde en az bir kişinin yer alması
- 2018 yılının Mayıs ayından başlamak üzere, altışar aylık aralıklarla her yılın Mayıs ve Kasım ayında toplanması,
- Eylemlerin gerçekleşme düzeylerine ilişkin gelişmeleri değerlendirmesi alınması gereken ek tedbirleri belirlemesi,
- Hazırlanan ilerleme raporu Enerji Verimliliği Koordinasyon Kurulu'na sunulması
- Gerektiğinde Enerji Verimliliği Koordinasyon Kurulu ilgili eylemlere dair detay sunum, sorumlu kurum ve kuruluşlardan ek açıklama talep etmesi öngörülmüştür. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı özet ilerleme raporu, her yılın Nisan ayında EVKK onayı sonrası kamuoyu ile paylaşılması öngörülmüştür

Türkiye Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023 te planlanan tüm hedeflere ulaşması için yapılması gereken tek hamle olarak Enerji Verimliliği ile ilgili koordinasyon, kontrol, planlama yapma ve yaptırma yetkisi olan bir yapıyı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü 'nü planda belirtilen İzleme ve Değerlendirme Komisyonunu yine planda belirtilen şekilde tüm ilgili kurum ve bakanlıklardan plan kapsamında sorumlu kişilerin görevlendirilerek Cumhurbaşkanlığı otoritesi altında toplamak olmalıdır. Ayrıca Enerji Verimliliği yasal çerçevesinin uygulanması için ihtiyaç duyduğu bu yapının hükümet için kilit önceliğe sahip olması gereklidir.

Oluşturulan bu yapı ile temelde aynı fakat her bir kamu sektörüne özel Enerji Yönetim modelleri oluşturarak ilk önce kendisi için etkin bir enerji verimliliği programını hedef alarak yürürlüğe koymalı ve topluma önderlik etmelidir.

Sonuç olarak koordinasyon, kontrol ve planlama işlevlerinde bütünlük sağlanmasıyla, Enerji Verimliliği kapsamında tüm kurum, kuruluş, ve bilgi ve tecrübe birikimiyle oluşan mevcut güçlü alt yapısı ile kısa sürede her alanda Enerji Verimliliği hedeflerine ulaşabileceği değerlendirilmektedir



KAYNAKÇA

- [1] Çalıköğlü, Erdal (2017) "Enerji Verimliliği Görünmeyen Güç Santrali", EİE İşleri Genel Müdürlüğü, İstanbul Teknik Üniversitesi Sunum, 20 Nisan 2017, İSTANBUL, ss.5.
- [2] IEA (International Energy Agency) (2016) "Energy Data Centre Energy Efficiency Indicators Highlights", 2016 Edition, OECD/IEA, Paris
- [3] Narin M., Akdemir S., (2007), "Enerji Verimliliği Ve Türkiye", 3ss
- [4] Çermikli, A. Hakan (2005) "Enerji Tüketimi, Enerji Yoğunluğu ve İktisadi Büyüme", Ekonomik Yaklaşım, Cilt 16, Sayı 56, ss. 57-77.
- [5] YEGM (2017), http://www.eie.gov.tr/verimlilik/v_mevzuat.aspx,
- [6] Castro-Alvarez F., Vaidyanathan S., Bastian H., King J., Haziran 2018, "The 2018 International Energy Efficiency Scorecard", Washington, ACEEE American Council for an Energy-Efficient Economy
- [7] Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023 <https://enerji.gov.tr/evced-enerji-verimliliği-uevep> 20.09.2023
- [8] ETKB 2004-2022 Enerji Denge Tabloları <https://enerji.gov.tr/eigm-raporlari> Ulaşım Tarihi : 20.09.2022
- [9] 2017-2022 Gelişim Raporları Özetleri <https://enerji.gov.tr/evced-enerji-verimliliği-uevep> 20.09.2023

İKLİM KRİZİNİN AZALTILMASINDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Energy Efficiency in Mitigating The Climate Crisis
Muammer Akgün¹, Dr. Barbaros Batur², Dr. M. Cem Çelik³,

1 MMO İstanbul Şube Kazan ve Basınçlı Kaplar Komisyonu
2 Yıldız Teknik Üniversitesi
3 Marmara Üniversitesi

Anahtar kelimeler: İklim krizi, Sera gazı emisyonları, Enerji verimliliği

ÖZET

İklim kriziyle mücadelede enerji verimliliği önemli bir role sahiptir. Enerji verimliliği uygulamaları ile sera gazı emisyonlarının azaltılmasına, enerji kaynaklarının daha sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına ve iklim değişikliği etkilerinin azaltılmasına yardımcı olacaktır.

Enerji verimliliği, iklim kriziyle mücadelede önemli stratejilerden biridir. Politika yapımcılar, şirketler ve bireyler enerji verimliliğini artırmaya yönelik önlemler alarak iklim değişikliğinin azaltılmasına katkıda bulunabilirler. Bu, enerji tüketiminin azaltılması, fosil yakıt kullanımının azaltılması ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş gibi adımları içerebilir.

Azaltılmış enerji tüketimi, azaltılmış fosil yakıt kullanımı, yenilenebilir enerji kaynaklarına en kısa sürede geçiş, bu süreçteki ekonomik faydalar enerji verimliliğinin kısa sürede artırılmasına ve iklim krizi ile mücadeleye ciddi anlamda katkı sağlanmasına yol açacaktır.

Enerji krizinin azaltılmasında dünyada en popüler konular olan Binaların enerji verimliliği, endüstriyel süreçlerde verimlilik, ulaşım sektöründe verimlilik, tarım ve gıda üretiminde verimlilik, enerji yönetimi ve bilinç, yenilenebilir enerji kaynakları, yasal düzenlemeler ve teşvikler, işbirlikleri ve ortaklıklar, araştırma ve inovasyon gibi konulardır. Bu çalışmada, iklim değişikliğinin azaltılması için uygulanması gereken enerji verimliliği uygulamalarının analizi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Enerji Krizi, Enerji Verimliliği, Sera gazı emisyonları

ABSTRACT

Energy efficiency has an important role in combating the climate crisis. Energy efficiency practices will help reduce greenhouse gas emissions, utilise energy resources more sustainably and mitigate climate change impacts.

Energy efficiency is one of the important strategies in combating the climate crisis. Policy makers, companies and individuals can contribute to climate change mitigation by taking measures to improve energy efficiency. This can include steps such as reducing energy consumption, reducing fossil fuel use and switching to sustainable energy sources.



Reduced energy consumption, Reduced fossil fuel use, Transition to renewable energy sources as soon as possible, the economic benefits in this process will lead to an increase in energy efficiency in a short time and a significant contribution to the fight against the climate crisis.

Energy efficiency of buildings, efficiency in industrial processes, efficiency in the transport sector, efficiency in agriculture and food production, energy management and awareness, renewable energy sources, legal regulations and incentives, collaborations and partnerships, research and innovation are the most popular topics in the world in reducing the energy crisis. In this paper, energy efficiency practices that should be implemented to mitigate climate change have been analysed.

Key words: Energy Crisis, Energy Efficiency, Greenhouse Gas Emissions

GİRİŞ

Her dönemin kendine özgü zorlukları ve sorunları bulunur. Yaşadığımız çağın en büyük sorunu da küresel iklim değişikliğidir. Küresel sıcaklık ortalamalarının Sanayi Devrimi öncesi düzeyinin 2°C'nin üzerine yükselmesini engellemek, yaşamsal öneme sahiptir. Atmosfere salınan karbondioksit ve diğer sera gazlarının çoğu enerji üretiminden ve kullanımından kaynaklanır. Birim enerji başına daha çok enerji hizmeti ve ürünü almak anlamına gelen enerji verimliliği, enerjide yüzde 73'ler seviyesinde olan dışa bağımlılık oranımızın azaltılmasında ve iklim değişikliği ile mücadelenin etkinliğinin artırılmasında büyük bir önem taşır. Enerji ihtiyacını, dolayısıyla emisyonları azaltmanın en ekonomik ve etkin yolu enerji verimliliğinin sağlanmasıdır. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (UEA) en son senaryoları, enerji verimliliğinin 2050 yılında toplam karbondioksit emisyonlarının azalmasının yüzde 31-53'ünü oluşturabileceğini tahmin etmektedir[1].

Türkiye'nin sera gazı emisyonları, 1990 ila 2021 yılları arasında yüzde 157 artış göstermiştir. Öte yandan, Türkiye'nin emisyonlarının 2021 yılı itibariyle 2007 yılına göre yaklaşık üçe katlanacağı öngörülmektedir[2]. Ülkemizde, bina sektöründe yüzde 30, sanayi sektöründe yüzde 20 ve ulaşım sektöründe yüzde 15 olmak üzere önemli düzeyde enerji tasarruf potansiyeli olduğu tespit edilmiştir. Bu potansiyelin değerlendirilmesi ve enerji verimliliğinin artırılması amacıyla 2007 yılında Türkiye'de Enerji Verimliliği Kanunu ve bu Kanuna dayanılarak 2008 yılında ise Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik yürürlüğe girmiştir. Bununla birlikte, uygulama ve yaygınlaştırmada atılması gereken pek çok adım bulunduğu görülmektedir.

Enerji verimliliği, tüm sektörlerde geniş kapsamlı dönüşümü zorunlu kılıyor. Bununla birlikte; yeni iş imkanları yaratmaktadır. Düşük karbon ekonomisine geçiş; hem yerel, hem ulusal hem de küresel ölçekte, yeni iş imkânları, yeni endüstriler, yeni pazarlar ve daha verimli, daha üretken ve daha yeşil bir ekonomi için başlangıç noktası olabilir. Enerji verimliliği uzun vadede, emisyonların azaltılmasının yanı sıra, pahalı ve sınırlı bir kaynak olan petrol ve doğal gaz bağımlılığının azaltılması için en etkin seçenektir. İşin kilit noktası, en verimli ekipmanın yatırım maliyetinin karşılanması için gerekli kaynağın oluşturulmasıdır. Sonuç olarak; enerji verimliliğine yönelik teknolojileri geliştirmek ve bunu ucuz hale getirerek yaygınlaştırmak bir öncelik halini almak zorundadır.

1- ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Enerji verimliliği, yaşam standartımızı, üretim kalitesini ve miktarını düşürmeden, daha az enerji kullanarak aynı miktardaki işi yapabilmektir. Gaz, buhar, ısı, hava ve elektrik üretiminde enerji kayıpları enerji verimliliğiyle önlenir. Atıkların gelişmiş teknolojiler kullanılarak değerlendirilmesi üretimi düşürmeden enerji talebini azaltır. Enerji verimliliği; daha verimli enerji kaynaklarının kullanımının yanı sıra gelişmiş endüstriyel süreçler ve enerji geri kazanımları gibi etkinliği artırıcı önlemlerle de gerçekleştirilebilir. Enerji verimliliği konusunda kamuoyunda farkındalık oluşturulması, kamusal düzenlemelerin hayata geçirilmesi, sektörel dönüşümün hızlandırılması ve verimliliği teşvik eden yasal düzenlemelerin devreye sokulması kapsayan uzun soluklu bir süreçtir.

İklim değişikliğine neden olan emisyonları ve fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak için yenilenebilir enerji kullanımının artmasının ve mevcut enerji talebinin düşürülmesi gerekir. Enerji talebinin düşürülmesinde enerji verimliliği çok önemli bir role sahiptir. Enerjiyi verimli kullanmak, sera gazı emisyonlarının azaltılmasında en hızlı ve maliyeti en düşük çözümdür. Özellikle; hızla artan dünya nüfusu göz önünde bulundurulduğunda, artan talebin karşılanmasında enerji verimliliğinin ne denli önemli olduğu daha iyi anlaşılır.

1.1. Enerji Verimliliğinin İklim Değişikliğiyle Mücadeledeki Rolü

Atmosferdeki sera gazı emisyonlarının yüzde 77'si, petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtların yanmasıyla oluşmaktadır. Günümüzde, başlıca sera gazlarından olan karbondioksitin atmosferdeki miktarı, doğanın kabul edebileceği miktardan çok daha hızlı artmaktadır. Bunun sonucunda, yeryüzünün ortalama sıcaklığı geçtiğimiz yüzyıl



içinde 0,7 °C artmıştır. Enerji üretiminde ve tüketimindeki tüm süreçlerde açığa çıkan emisyonlar, iklim değişikliğinin en önemli nedenidir. Buna ek olarak kömür ve doğal gaz gibi yakıtların kullanımı, sera gazlarının yanı sıra azot oksitler ve sülfür oksitler gibi zehirli gazlar açığa çıkarmakta, bu gazlar asit yağmuru gibi birçok sağlık ve çevre sorununa neden olmaktadır.

Enerji ihtiyacını, dolayısıyla emisyonları azaltmanın en ekonomik ve etkin yolu enerji verimliliğidir. 2010-2030 yılları arasında; ulaşım, binalar ve sanayide verimlilik sağlanması ve yeni teknolojilere yönelik 8,3 trilyon dolarlık yatırımın gerçekleşmesi durumunda; aynı dönemde küresel ölçekte 8,6 trilyon dolar tasarruf edilebilecektir[3]. Başka bir deyişle, verimlilik için yapılan yatırım kendi kendini karşılamaktadır. İklim değişikliğiyle mücadelede vazgeçilmez öneme sahip olan enerji verimliliği, artan enerji ihtiyacı için doğal kaynakların tahribini önlemenin yanı sıra ekonomik açıdan da kârlıdır.

2020-2025 yılları itibariyle nüfus ve kalkınma düzeyi artarken, enerji verimliliği sayesinde tahmini talep yılda yüzde 39 oranında azaltılabilir. Enerji verimliliği ve düşük karbon ekonomisine uygun enerji türleri kullanılarak bir yandan kalkınma ve refah seviyesinin artması sağlanırken, diğer yandan yoğunluğu düşük ve fosil kaynaklı olmayan enerji biçimlerinin yaygınlaştırılması mümkün olabilir. Enerji arzında güvenliğin sağlanmasında, yüzde 73'ler seviyesinde olan dışa bağımlılık oranı ve bundan kaynaklanan risklerin azaltılmasında ve iklim değişikliğiyle mücadelede etkinliğin artırılmasında, enerjinin üretimden kullanımına kadar tüm süreçte verimliliğin sağlanması, israfın önlenmesi ve enerji yoğunluğunun azaltılması büyük bir önem taşımaktadır. Sürdürülebilirlik penceresinden baktığımızda, enerji tüketimindeki artış en aza indirilirken, refah seviyesinin yükseltilmesi düşük karbon ekonomisiyle mümkündür. Enerji yoğunluğunu azaltılırken, ekonomik büyümeyi dengelemek ve enerji tüketimini azaltmak, hükümet politikalarında öncelikli hale getirilmelidir. Karbon yoğunluğunun düşürülmesini hedefleyen politikalar yerel, ulusal ve küresel ölçekte benimsenmelidir[4].

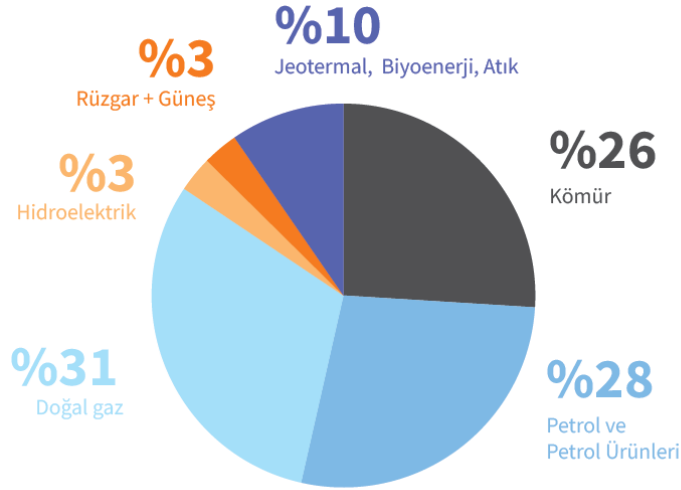
Avrupa Birliği (AB) için enerji verimliliği, enerji ve iklim politikasının en önemli bileşenlerindedir. AB'nin, 2008 Aralık'ta yenilediği ve kısaca 20/20/20 olarak açıkladığı iklim ve enerji ile ilgili hedefleri; 2020'ye kadar, 1990 rakamlarına göre, yüzde 20 sera gazı emisyonu azaltımı, enerji verimliliğinde yüzde 20 artış ve enerji kullanımında yenilenebilir enerjilerin payının yüzde 20'ye çıkarılması şeklindedir. AB'de enerji sektöründe 2020'de yıllık değeri 60 milyar Euro olan ve Almanya'nın enerji tüketimine eş değer olan yüzde 20 oranında enerji tasarrufu sağlanması bekleniyordu. Ülke, birincil enerji tüketimini 2020 yılına kadar seviyelerine kıyasla yüzde 20 azaltmayı hedefliyordu. Ancak koronavirüs pandemisinin neden olduğu durgunluğa rağmen tüketim yüzde 18 oranında azaltılabildi.

1.2. Türkiye'de Enerji

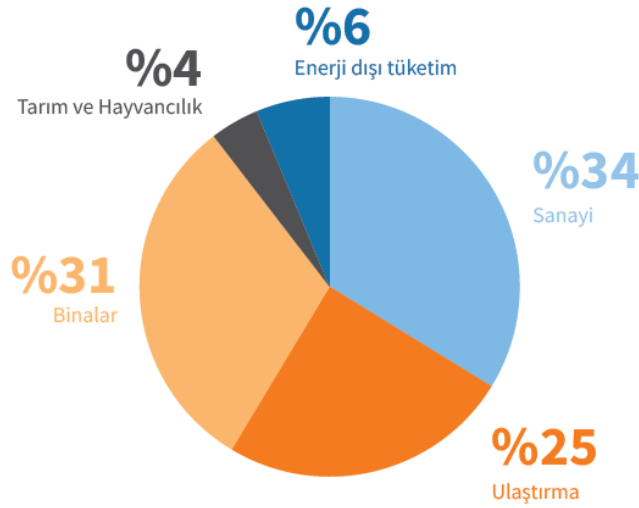
Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde, kişi başına düşen enerji tüketimi kalkınma hamlelerine paralel olarak artmaktadır. Türkiye'de enerji faaliyetleriyle oluşan emisyonların 1990 yılı ile kıyaslandığında toplam emisyonlardaki payı 2010 yılında yüzde 81,7 iken Bu değer 2021 yılında yüzde 157,1 olmuştur. 2010 yılı itibariyle, karbondioksitin sera gazı emisyonlarındaki payı yüzde 108 ve enerji kaynaklı emisyonlardaki payı ise yüzde 109 iken 2021 yılı itibariyle, karbondioksitin sera gazı emisyonlarındaki payı yüzde 198 ve enerji kaynaklı emisyonlardaki payı ise yüzde 197 olmuştur. 2010 yılında sanayi sektöründe kullanılan enerjiden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının artışı yüzde 40 iken bu değer 2021 yılında bu değer yüzde 78'e yükselmiştir[2].

2021 yılında birincil enerji arzı bir önceki yıla kıyasla %8,3 artış göstererek 159 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. 2021 yılında gerçekleşen nihai enerji tüketimi 123,9 milyon TEP değerine ulaşmıştır. 2021 yılı birincil enerji arzı incelendiğinde fosil yakıtlarının payının %84, yenilenebilir enerjinin payının ise %16'ya ulaştığı görülmektedir. Dağılım Şekil 1 de görülmektedir. Bu rakamlar incelendiğinde yenilenebilir enerji kaynaklarının düşük oranda kullanıldığını görülmektedir[5].

Nihai enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı incelendiğinde en yüksek payın %34 ile sanayi sektörüne ait olduğu görülmektedir. Salgın sonrası normalleşme ile birlikte ulaştırma sektöründe 2020 yılına kıyasla 2021 yılında %13 oranında artış görülmüştür. Dağılım Şekil 2 de görülmektedir.



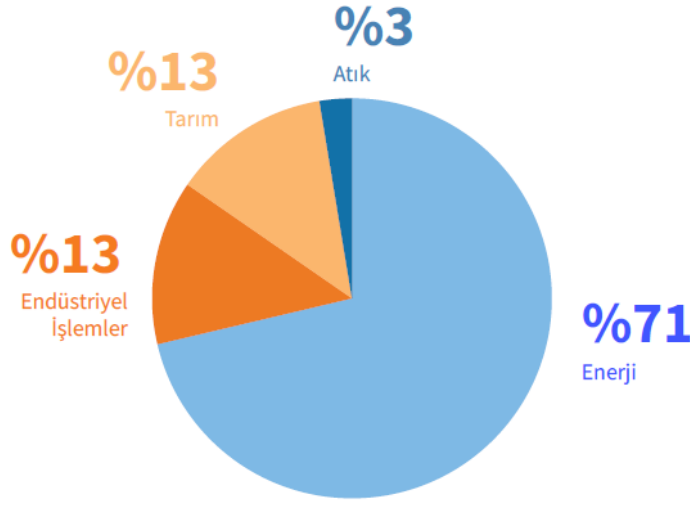
Şekil 1. 2021 yılı birincil enerji arzı yakıtların pay dağılımı



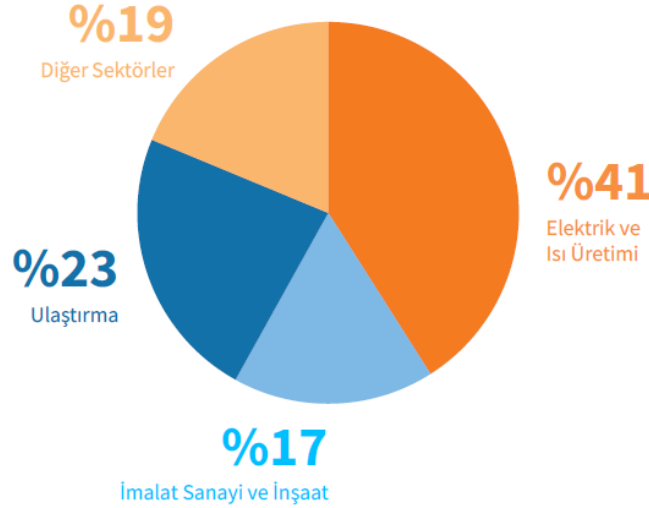
Şekil 2- 2021 yılında gerçekleşen nihai enerji tüketimi Sektörlere göre dağılımı

TÜİK'in yayımlamış olduğu verilere göre 2021 yılı toplam sera gazı emisyon miktarı 564,4 Mton CO₂ olarak gerçekleşmiş olup bir önceki yıla göre %7,7 artış göstermiştir. Şekil 3'te 2021 yılı toplam sera gazı emisyon miktarının sektörler arasında dağılımı görülmektedir.

2021 yılında enerji kaynaklı karbon emisyonlarında en büyük pay (%41) elektrik ve ısı üretimi için kullanılan birincil kaynakların yakılması sonucunda ortaya çıkan emisyonlara aittir. Şekil 4'te Enerji Kaynaklı Karbon Emisyonlarının Sektörel Dağılımının sektörler arasında dağılımı görülmektedir[5].



Şekil 3- 2021 yılında gerçekleşen toplam sera gazı emisyonlarının Sektörlere göre dağılımı



Şekil 4- 2021 yılında gerçekleşen Enerji Kaynaklı Karbon Emisyonlarının Sektörel Dağılımı

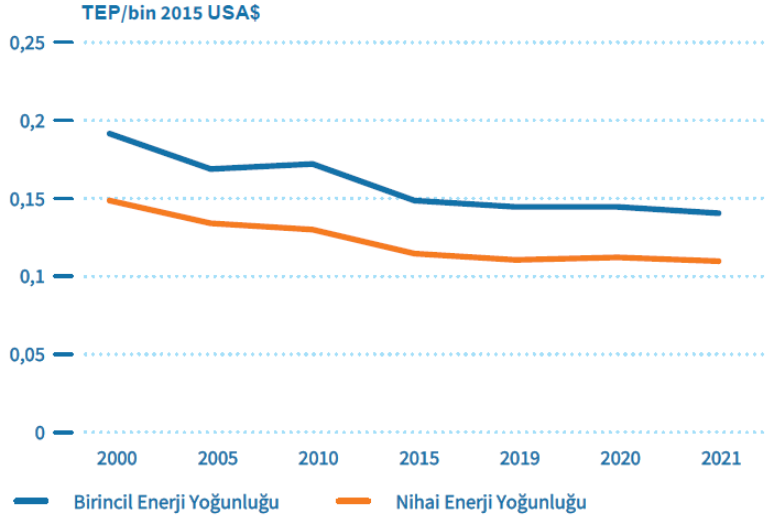
Türkiye'nin kişi başına düşen enerji tüketimi ise Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD) ortalamasının yaklaşık beşte biridir. Buna karşın, Türkiye'nin enerji yoğunluğu OECD ortalamasının iki katıdır. Türkiye'nin kişi başına düşen sera gazı emisyonu gelişmiş ülkelerle kıyaslandığında düşük olsa da, enerji yoğunluğu oldukça yüksektir ve düşük karbon ekonomisine geçişte yoğunluğun azaltılması büyük önem taşır[5].

1.3. Türkiye'nin Enerji Yoğunluğu

Enerji yoğunluğu, bir dolarlık mal ya da hizmet üretmek için tüketilen enerji miktarıdır. Bir ülkenin enerji yoğunluğunun düşük olması; üretilen mal ya da hizmetin daha az enerjiyle elde edilmesi anlamına gelir. Türkiye'nin kişi başına düşen enerji tüketimi OECD ortalamasının yaklaşık beşte biri olmasına karşın, Türkiye'nin enerji yoğunluğu OECD ortalamasının iki katıdır. Başka bir deyişle; Türkiye bir dolarlık mal ya da hizmet üretmek için OECD ülkelerinde kullanılan enerji miktarının iki katı enerji kullanmaktadır.

Türkiye'nin enerji yoğunluğu AB ülkelerinin yaklaşık iki buçuk, OECD ülkelerinin ise iki katıdır.

Enerji Enformasyon İdaresi tarafından yayımlanan verilere göre, 2000-2021 döneminde satın alım gücü paritesine göre Türkiye'nin enerji yoğunluğundaki toplam azalma %21,5 dünyadaki toplam azalma ise %23,9 seviyesinde gerçekleşmiştir. 2021 yılı itibarıyla Türkiye'nin satın alım gücü paritesine göre enerji yoğunluğu dünya ortalamasından %44 daha düşüktür. Şekil 5'te Türkiye Enerji Yoğunluğu İndeksinin Gelişimi görülmektedir[5].



Şekil 5- 2000-2021 yılları arasında Türkiye enerji yoğunluğu indeksinin birincil ve nihai enerji yoğunluğu açısından gelişimi

Ülkemizde, enerjinin yoğun kullanıldığı sektörlerde %20-30 dolayında enerji tasarruf potansiyeli olduğu bilinmektedir. (Sanayi \geq %20, Bina ve Hizmet \geq %30, Ulaşım \geq %20) % 15'lik elektrik tasarruf potansiyeli geri kazanıldığında 6,5 milyar YTL'lik doğal gazlı santral yatırımı önlenebilir. Yılda 3,0 milyar USD'lık doğal gaz ithal edilmeyebilir. Binaların ve işletmelerin ısıtma ve soğutmasında yüzde 35 ve ulaşımda yüzde 15 tasarruf sağlandığında yılda 1,4 milyar dolarlık petrol ve doğal gaz ithalatına ihtiyaç kalmayabilir. Sanayi, bina ve hizmet sektörleri, toplam nihai enerji tüketimi ve verimlilik potansiyellerinin yüksek olması sebebiyle öncelikli sektörlerdir[6].

2022 yılı sonu itibarı ile Türkiye'nin toplam elektrik kurulu gücünün %54'ü, brüt elektrik üretiminin ise %42'si yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmıştır. Öte yandan elektrik sektörü dışındaki sanayi, ulaşım ve konut gibi enerji yoğun son kullanım sektörlerinin karbonsuzlaşması için atılması gereken önemli adımlar olduğu görülmektedir. Özellikle enerjiyi yoğun tüketen sanayi, ulaştırma ve binalar gibi son kullanım sektörlerinde enerji verimliliği artırılarak enerji yoğunluğunun düşürülmesi, enerji sisteminin karbonsuzlaşması için kritik önemdedir. Enerji verimliliğine yönelik uygulamalara ek olarak son kullanım sektörlerinde 'temiz elektrifikasyon' hem enerji kullanımında fosil yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi sağlayan, hem de verimliliği artıran başlıca strateji olarak öne çıkmaktadır. Doğrudan elektrifikasyonun mümkün olmadığı sektörlerin ise yeşil hidrojen ve diğer temiz yakıtların kullanılması ile karbonsuzlaşması gündemdedir. Bu anlamda enerji dönüşümünün başarısında hala geliştirilmekte olan yeni teknolojilerin durumu da önemli olacaktır.

1.4. Türkiye'nin Enerji Verimliliği Stratejisi

Türkiye'de enerji tüketimi yılda yaklaşık yüzde dört-beş oranında artarken, elektrik tüketimindeki artış yüzde yedi-sekiz düzeyindedir. Türkiye'de elektriğin yaklaşık yarısı sanayi tarafından kullanılmaktadır

Enerjinin etkin kullanımı, israfın önlenmesi, kayıp ve kaçaklar nedeniyle kurulu gücün üretime dönüşmesinde yaşanan açığın azaltılması ve enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün azaltılmasını amaçlayan Türkiye Enerji Verimliliği Kanunu, 2007 yılında yürürlüğe girmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na göre, kurulu gücün üretime dönüşmesinde mega watt başına yılda yaklaşık yüzde 10'luk bir iyileşme söz konusudur. Bununla birlikte; kurulu gücün üretime dönüşme oranına bakıldığında Türkiye OECD ülkelerinin ortalamasının altındadır.

Bina sektöründe yüzde 30, sanayi sektöründe yüzde 20 ve ulaşım sektöründe yüzde 15 olmak üzere yaklaşık 7,5 milyar TL değerinde enerji tasarruf potansiyelimizin olduğu tespit edilmiştir. Bu da, dört Keban Barajı'nın ürettiği enerjiye eşdeğerdir. Potansiyelin değerlendirilmesi ve enerji verimliliğinin artırılması amacıyla 2007 yılında Enerji Verimliliği Kanunu ve 2008 yılında Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik yürürlüğe girmiştir. Kanun; enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, endüstriyel işletmelerde, binalarda, elektrik enerjisi üretim tesislerinde, iletim ve dağıtım şebekelerinde ve ulaşımda enerji verimliliğinin artırılması ve desteklenmesi, toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılması ile ilgili hükümleri kapsar. Ulaşım sektörü, verimliliği artırmanın yanı sıra temiz kaynaklardan elde edilen yakıtları kullanmalıdır. Elektrik İşleri Etüd İdaresi'nin enerji verimliliği stratejisindeki ana hedefi; sanayide, binalarda, ulaşımda ve enerji sektöründe alınacak tedbirlerle 2023 yılında birim milli gelir başına tüketilen enerjinin (enerji yoğunluğunun) 2010 yılına göre yüzde 20 oranında azalmasıdır[7].



Türkiye'nin birçok stratejik plan dokümanında enerji verimliliği ve iklim değişikliği konuları birlikte ele alınmış, iklim değişikliği ile mücadelede enerji verimliliği bir fırsat ve araç olarak değerlendirilmiştir. Bina, ulaşım ve hizmet sektörlerinde enerji verimliliğinin artırılması ve yerli kaynakların optimum kullanımının sağlanmasında 2010-2023 yılları için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından Enerji Verimliliği Stratejisi'nde belirlenen temel amaçlar şunlardır:

- Sanayi ve hizmet sektörlerinde enerji yoğunluğunu ve enerji kayıplarını azaltmak,
- Enerji verimliliği yüksek binaların enerji taleplerini ve karbon emisyonlarını azaltmak ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanan sürdürülebilir çevre dostu binaları yaygınlaştırmak,
- Enerji verimli ürünlerin piyasa dönüşümünü sağlamak,
- Elektrik üretim, iletim ve dağıtımında verimliliği artırmak; enerji kayıplarını ve zararlı çevre emisyonlarını azaltmak,
- Motorlu taşıtların birim fosil yakıt tüketimini azaltmak, kara, deniz ve demiryollarında toplu taşımanın payını artırmak ve şehiriçi ulaşımda gereksiz yakıt sarfiyatını önlemek,
- Kamu kuruluşlarında enerjiyi etkin ve verimli kullanmak,
- Kurumsal yapıları, kapasiteleri ve işbirliklerini güçlendirmek; ileri teknoloji kullanımını ve bilinçlendirme etkinliklerini artırmak; kamu dışında finansman fırsatları yaratmak.

Benzer şekilde, Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi'nde (2010-2020); Sera Gazı Emisyon Kontrolü başlığı altındaki enerji bölümünde; binalarda enerji verimliliği potansiyelinin tespit edileceği, sanayi ile işbirliği içinde enerji verimliliğini sağlayacak yapı malzemeleri ve teknolojilerine yönelik öncelikli projeler belirleneceği, binalarda enerji kimlik belgesi uygulaması için gerekli altyapının sağlanacağı, sanayi ve bina sektörlerinde sertifikalı enerji yöneticileri ile standartlara uygun enerji yönetimi uygulanacağı belirtilmekte, uzun vadede ise 2020 yılına kadar enerji yoğunluğunun 2004 yılına göre daha düşük seviyelere indirileceği, kamu kuruluşlarının bina ve tesislerinde iyileştirme sağlanacağı ifade edilmektedir[8].

1.5. Türkiye'de Enerjinin Verimli Kullanılması

Türkiye'nin enerji verimliliği ile ilgili atabileceği birçok adım bulunmaktadır. 1970'lerden bu yana elektrik ve doğalgaz ihtiyacımız hızla artıyor. Bu artış, nüfus ve elektrikli cihazların kullanımı arttıkça daha da hız kazanmaktadır. Enerji verimliliği potansiyeli sektörden sektöre farklılık göstermektedir. Fosil yakıtla enerji üretiminde ortalama yüzde 25 verimlilik artışı potansiyeli bulunurken, Ulaşım sektöründe bu potansiyel yüzde 40'tır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından belirtilen yüzde 15'lik tasarruf sağlandığında petrol ve doğal gaz ithalatında yıllık 1,4 milyar dolarlık azalma sağlanabileceği belirtilmektedir.

Şebeke kayıplarının ülkemizde oldukça yüksek olduğu görülüyor. 2022 yılında Türkiye'deki iletim hattı kayıpları 5,4 TWh (terawatt/saat), dağıtım hattı kayıpları ise 23,6 TWh olarak gerçekleşmiştir. Başka bir deyişle Türkiye'de şebeke kayıpları yaklaşık olarak yüzde 10'dur. Bu kayıpların düşürülmesi 1,7 milyar TL'lik kazanım anlamına gelmektedir. Şebeke kayıpları Almanya ve Japonya'da yaklaşık yüzde beş, Güney Kore'de dört, ABD'de yedidir.

Büyük çapta enerji verimliliği bütün ekonomilerde mümkündür. Ülkelerin altyapıları, enerji verimliliği artırımına dirençli görünebilir. Engellerin başında bilgilendirme eksikliği ile hukuki ve kurumsal yetersizlik geliyor. Bu bağlamda 2007 yılında çıkarılan Enerji Verimliliği Kanunu ve 2008 yılında çıkarılan Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik hukuki düzlemde atılmış ileriye dönük olumlu gelişmelerdir, ancak uygulanmasında ve yaygınlaştırılmasında atılması gereken adımlar vardır.

2. ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE KARBON AYAK İZİNİ DÜŞÜRMEK İÇİN GEREKLİ ENERJİ GERİ KAZANIM UYGULAMALARI

Enerji verimliliği artırım potansiyeli sektörden sektöre farklılık göstermektedir. Küresel ölçekte fosil yakıtla enerji üretimi için ortalama yüzde 25 verimlilik artırım potansiyeli bulunuyor. Ulaşım için bu potansiyel yüzde 40 düzeyine çıkıyor. Mümkün olan bütün verimlilik artırımını tek bir politika veya teknoloji ile elde etmek mümkün değildir. Birden çok politika ve yükümlülüğün uygulamaya girmesi zorunludur.

Enerji verimliliğinin sağlanması ve bu konuyla ilgili politikaların etkin bir şekilde hayata geçirilmesi için aşağıdaki fırsatların değerlendirilmesi gerektiğini savunulmaktadır:

- **Tüm dünya ülkelerinde enerji verimliliği potansiyelinin harekete geçirilmesi için uluslararası işbirliği gerekmektedir.** Günümüzde ülkeler arası işbirliği yalnızca kalkınma programları ile sınırlı kalmıyor, bunun yanı sıra, enerji ve iklim politikaları da işbirliğine konu olabiliyor. Enerji verimliliğinin uluslararası işbirliği programlarının öncelikli konusu olması gerekmektedir.

- **“Kirlenen öder” ilkesi uygulanmalıdır.** “Kirlenen öder” ilkesi¹⁶ doğrultusunda fosil yakıtlar üzerinden alınan vergiler artırılmalı ve geleneksel enerji kaynaklarına yönelik devlet desteği zamanla azaltılmalıdır.
- **Enerji verimliliği için net hedefler belirlenmeli ve buna uymayanlar için cezalar konulmalıdır.** Enerji verimliliği için net hedeflerin belirlenmesi, verimlilik artışının sağlanmasında ön koşuldur. Düzenli denetim yapılması ve buna uymayanların cezalandırılması başarılı bir strateji için önemlidir.
- **Yeni ve mevcut binalar için performans standartları belirlenmelidir.** Standartların, gelişen teknolojiye paralel olarak sıkılaştırılması, zamanı geldiğinde ayarlamalar yapılması ve uyulmadığı takdirde cezaların uygulanması verimli bir strateji için önemlidir.
- **Beyaz eşya ve ofis cihazları için minimum verimlilik ve bekleme modunda enerji kullanımı standartları ortaya konmalıdır.** Bu standartlar tercihen uluslararası ölçekte olmalı ve geniş bir kitleye hitap etmelidir. Standartların hızla gelişen teknolojiye ayak uydurması, gerektiğinde güncellenmesi ve uyulmadığı takdirde cezaların uygulanması verimli bir strateji için önemlidir. Ayrıca beyaz eşya ve ofis cihazlarında enerji verimliliği etiketlendirme sistemi getirilmelidir.
- **Kargo ve yolcu taşıtları için minimum enerji verimliliği standartları ortaya konmalıdır.** Kargo ve yolcu taşıtları için iddialı ve bağlayıcı enerji verimliliği veya emisyon standartlarının uygulamaya konulması, ulaşım sektöründe enerji kullanımını azaltmada etkili olacaktır. Eğer araçlar için maksimum bir değer belirlenirse veya çok enerji kullanan araçlara yüksek vergi uygulanırsa, enerji kullanımı daha da azaltılabilir.
- **Teknolojik işbirliği ve uluslararası programlarda enerji verimliliğine öncelik verilmelidir.** Enerji verimliliği, tüm ekonomik faaliyetlerin planlanmasında göz önünde bulundurulmalı, yeni teknolojik işbirlikleri kapsamında ele alınmalıdır.
- **Sanayi sektörünün enerji verimliliği sağlayan teknolojileri devreye sokarak kullanması sağlanmalıdır.** Sanayi sektöründe faaliyet gösteren şirketlerin enerji verimliliği sağlayan teknolojileri uyarlaması için gerekli teşvik mekanizmaları oluşturulmalıdır[1].

2.1. Evlerde karbon ayak izini düşürmek için gerekli enerji geri kazanım uygulamaları

Evlerde karbon ayak izini düşürmek için enerji geri kazanım uygulamaları önemlidir. Bu uygulamalar, enerji tasarrufunu teşvik eder ve sürdürülebilir bir yaşam tarzını destekler. İşte evlerde karbon ayak izini azaltmaya yardımcı olabilecek bazı enerji geri kazanım uygulamaları:

- **Yalıtım:** İyi bir yalıtım, ısı kaybını azaltır ve ısıtma/soğutma maliyetlerini düşürür. Bu, evin daha verimli bir şekilde ısıtılmasına veya soğutulmasına yardımcı olur.
- **Enerji Verimli Cihazlar:** Evde kullanılan beyaz eşyalar, aydınlatma sistemleri ve HVAC (Isıtma, Soğutma, Havalandırma ve Klima) sistemleri gibi enerji verimli cihazlar seçmek, enerji tüketimini azaltır.
- **Güneş Enerjisi:** Güneş panelleri kullanarak evde güneş enerjisi üretebilirsiniz. Bu, evin enerji ihtiyacını karşılayabilir veya fazla enerjiyi elektrik şebekesine satabilir.
- **Suyu Geri Kazanma:** Gri su geri dönüşüm sistemleri, duş ve lavabo suyunu temizleme ve tekrar kullanma işlevine sahiptir. Bu, su tasarrufu sağlar ve su ısıtma maliyetlerini düşürür.
- **Rüzgar Enerjisi:** Rüzgar türbinleri, rüzgar enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Evinizin yakınında rüzgar enerjisi üretebileceğiniz bir alan varsa, bu bir seçenek olabilir.
- **Isı Geri Kazanımı:** Isı geri kazanım sistemleri, kullanılmış sıcak hava veya suyun enerjisini kullanarak yeni gelen temiz hava veya suyu ısıtmak için kullanır.
- **Doğal Aydınlatma ve Doğal Havalandırma:** Doğal aydınlatma ve havalandırma tasarımları, elektrik enerjisi kullanımını azaltır ve iç mekanlarda konforu artırır.
- **Akıllı Ev Teknolojisi:** Akıllı ev sistemleri, enerji verimliliğini artırmak ve enerji tüketimini izlemek için kullanılabilir.
- **Enerji Geri Kazanımı Havalandırma Sistemleri:** Enerji geri kazanımı havalandırma (EHRV) sistemleri, evin içindeki sıcak veya soğuk hava akışını düzenlerken, dışarıdaki hava ile enerji transferini sağlar. Bu, ısıtma veya soğutma maliyetlerini azaltır.
- **Atık Geri Dönüşümü:** Atık malzemeleri geri dönüştürmek ve tekrar kullanmak, kaynakları korur ve enerji tasarrufu sağlar.

Bu uygulamalar, evinizin karbon ayak izini azaltmanıza yardımcı olabilir. Ayrıca, enerji tasarrufu sağlayan alışkanlıkların benimsenmesi ve sürdürülebilir bir yaşam tarzının desteklenmesi de önemlidir.

2.2. İş yerlerinde karbon ayak izini düşürmek için gerekli enerji geri kazanım uygulamaları

İş yerlerinde karbon ayak izini düşürmek için enerji geri kazanımı uygulamaları, işletmelerin sürdürülebilirlik hedeflerini destekler ve enerji verimliliğini artırmaya yarar. İş yerlerinde karbon ayak izini azaltmaya yardımcı olabilecek enerji geri kazanım uygulamaları:

- **Enerji Verimli Aydınlatma:** Enerji tasarruflu LED aydınlatma sistemleri kullanmak, iş yerlerinde enerji tüketimini azaltabilir. Otomatik ışık kontrol sistemleri ve gün ışığına dayalı aydınlatma da enerji tasarrufu sağlar.
- **HVAC (Isıtma, Soğutma, Havalandırma ve Klima) Sistemleri:** İş yerlerinde enerji verimliliği için HVAC sistemlerini düzenli olarak bakım yaparak ve gelişmiş kontrol sistemleri kullanarak daha iyi yönetebilirsiniz. Ayrıca ısı geri kazanımı sistemleri, kullanılmış hava ve enerjisi geri kazanmak için kullanılabilir.
- **Enerji Geri Kazanımı Sistemleri:** Endüstriyel işletmeler için özel olarak tasarlanmış enerji geri kazanımı sistemleri, işlemler sırasında açığa çıkan ısının veya basınç enerjisinin geri kazanılmasını sağlar.
- **Yalıtım:** İş yerlerinin duvarları, çatıları ve pencereleri gibi binaların yalıtımı artırılarak ısı kaybı azaltılabilir. Bu, ısıtma ve soğutma maliyetlerini düşürebilir.
- **Güneş Enerjisi:** Çatıda güneş panelleri kullanarak elektrik enerjisi üretebilirsiniz. Bu, iş yerinizin elektrik ihtiyacının bir kısmını karşılayabilir ve karbon ayak izinizi azaltabilir.
- **Su Geri Kazanma:** Endüstriyel işletmeler için suyun geri kazanılması, işlem suyu veya soğutma suyu olarak kullanılarak su tüketimini azaltabilir.
- **Atık Isı Geri Kazanımı:** Endüstriyel işletmelerde sıcak su veya buhar üretimi sırasında açığa çıkan atık ısıyı geri kazanarak ısınma veya elektrik üretimi için kullanabilirsiniz.
- **Elektrikli Araç Şarj İstasyonları:** İş yerlerinde elektrikli araç şarj istasyonları kurmak, çalışanların elektrikli araçlarını şarj etmelerine olanak tanır ve fosil yakıtlı araç kullanımını azaltır.
- **Enerji Yönetim Sistemleri:** Akıllı enerji yönetim sistemleri, enerji tüketimini izlemek, analiz etmek ve optimize etmek için kullanılır. Bu sistemler, enerji maliyetlerini düşürebilir.
- **Geri Dönüşüm ve Atık Azaltma:** İş yerlerinde geri dönüşüm programları ve atık azaltma stratejileri, kaynak kullanımını azaltır ve çevresel etkiyi azaltır.

İşletmeler, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik konularına odaklanarak hem maliyetleri düşürebilir hem de çevreye katkıda bulunabilirler.

2.3. Ulaşımında karbon ayak izini düşürmek için gerekli enerji geri kazanım uygulamaları

Karbon ayak izini düşürmek için ulaşımda enerji geri kazanımı, önemli bir stratejidir. Bu uygulamalar, enerjinin atılmasını önlemek veya geri kazanarak daha verimli bir ulaşım sistemi oluşturmayı amaçlar. İşte karbon ayak izini azaltmaya yardımcı olabilecek enerji geri kazanım uygulamaları:

- **Elektrikli Araçlar:** Geleneksel içten yanmalı motorlu araçların yerine elektrikli araçlar kullanarak, enerji verimliliği artırabilirsiniz. Elektrikli araçlar, regeneratif frenleme gibi teknolojiler kullanarak frenleme sırasında enerjisi geri kazanabilirler.
- **Hibrit Araçlar:** Hibrit araçlar, benzinli veya dizel motorlarla birlikte elektrik motorları kullanır ve frenleme sırasında enerjisi geri kazanır.
- **Toplu Taşıma Sistemleri:** Toplu taşıma sistemleri, enerjisi daha etkili bir şekilde kullanabilir. Özellikle metro ve tramvay sistemleri, frenleme sırasında enerjisi depolamak ve geri kazanmak için süperkapasitörler veya bataryalar kullanabilirler.
- **Yakıt Hücreli Araçlar:** Yakıt hücreli araçlar, hidrojen kullanarak elektrik üretir ve sadece su buharı salar. Bu araçlar enerjisi verimli bir şekilde kullanır ve karbon ayak izini azaltır.
- **Bisiklet Paylaşım Sistemleri:** Şehir içi ulaşım için bisiklet paylaşım sistemleri enerji tasarrufu sağlar ve karbon ayak izini düşürebilir.
- **Enerji Depolama:** Enerji depolama sistemleri, enerjisi daha verimli bir şekilde kullanmak için yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen enerjisi depolayabilir ve taşıma araçlarına sağlayabilir.
- **Aerodinamik Tasarım:** Araçların aerodinamik tasarımı, hava direncini azaltarak yakıt tüketimini azaltabilir ve böylece enerji verimliliğini artırabilir.
- **Daha İyi Trafik Yönetimi:** Akıllı trafik yönetimi sistemleri, trafik sıkışıklığını azaltabilir ve yakıt tüketimini düşürebilir.
- **Enerji Verimliliği Standartları:** Araç üreticileri, daha enerji verimli araçlar üretmek için enerji verimliliği standartlarına uymalıdır.

- **Paylaşımlı Ulaşım:** Paylaşımlı ulaşım hizmetleri, özel araçların kullanımını azaltabilir ve daha az enerji tüketen toplu taşıma araçlarını teşvik edebilir.

Ayrıca, toplumun bu tür çözümleri benimsemesi ve desteklemesi de önemlidir.

2.4. Endüstriyel tesislerde karbon ayak izini düşürmek için gerekli enerji geri kazanım uygulamaları

Endüstriyel tesislerde karbon ayak izini düşürmek için enerji geri kazanımı oldukça önemlidir. Karbon ayak izini azaltmak için aşağıdaki enerji geri kazanımı uygulamalarını yapılabilir:

- **Isı Geri kazanımı:** Endüstriyel süreçler sırasında oluşan ısı enerjisi, ısı geri kazanım sistemleri kullanılarak yakalanabilir ve tekrar kullanılabilir. Bu ısı enerjisi, binaların ısıtılması veya soğutulması gibi farklı alanlarda kullanılabilir.
- **Buhar ve Basınç Enerjisinin Geri Kazanımı:** Endüstriyel işlemlerde oluşan buhar ve basınç enerjisi geri kazanılarak enerji tasarrufu sağlanabilir. Bu enerji, farklı süreçlerde veya tesis içindeki farklı cihazlarda kullanılabilir.
- **Enerji Geri Kazanımı ile Elektrik Üretimi:** Endüstriyel tesislerde oluşan atık ısının veya basınç enerjisinin kullanılmasıyla elektrik üretimi mümkündür. Bu sayede tesisin ihtiyaç duyduğu elektriğin bir kısmı kendi içinden üretilebilir.
- **Atık Enerjiyi Değerlendirme:** Endüstriyel tesislerde atık olarak ortaya çıkan enerji, örneğin atık su veya gazlar, geri kazanılabilir. Bu atık enerji, tesis içinde başka amaçlar için kullanılarak enerji tasarrufu sağlanabilir.
- **Enerji Verimliliğini Artırma:** Endüstriyel tesislerde enerji verimliliğini artıran önlemler almak da önemlidir. Bu, ekipmanların daha verimli kullanılması, süreçlerin optimize edilmesi ve enerji tasarrufu sağlayan teknolojilerin uygulanması anlamına gelir.
- **Güneş ve Rüzgar Enerjisi Kullanımı:** Eğer uygun koşullar varsa, endüstriyel tesislerde güneş ve rüzgar enerjisi kullanarak elektrik üretimi gerçekleştirilebilir. Bu yenilenebilir enerji kaynakları, tesisin enerji ihtiyacını karşılamada yardımcı olabilir.
- **Geri Dönüşüm ve Malzeme Tasarrufu:** Enerji geri kazanımının yanı sıra, atık malzemelerin geri dönüşümü ve kullanımıyla da enerji tasarrufu sağlanabilir. Bu, ham madde kullanımını azaltarak çevreye ve enerjiye daha az yük getirir.

Her tesisin yapısı ve ihtiyaçları farklı olduğundan, en etkili stratejileri belirlemek için uzman danışmanlık almak ve spesifik durumu incelemek önemlidir.

3. SONUÇ

Enerji verimliliği; ülkelerin ekonomik büyüme, enerji arz güvenliği, iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik gibi birçok hedefinin gerçekleştirilmesinde önemli bir kaynak olarak değerlendirilmektedir. Enerji verimliliği çalışmaları üzerinde durulmadığı takdirde oluşan fazla enerji talebini karşılamak amacıyla yapılan yeni yatırımların daha yüksek kapasitelerde dolayısıyla daha yüksek maliyetlerle gerçekleştirilmesi kaçınılmaz olacaktır. Enerji verimliliği konusunda gerekli planlamalar yapılmaz ise, Türkiye için enerji sorunu daha da büyüyecek ve ekonomi daha fazla enerji yoğun bir hale gelecektir. Türkiye'de enerji talebinin giderek arttığı ve sanayi sektöründeki gelişmelere paralel olarak bu artışın devam edeceği görülmektedir. Sanayi sektörünün enerji talebinin karşılanması konusunda yapılması gereken ilk uygulama, tüm sektörlerde sürdürülebilir enerji verimliliği çalışmalarının hayata geçirilmesidir. Türkiye'de hızla artmakta olan enerji talebini karşılamak için sınırlı olan doğal kaynaklarımızın kullanımını optimize etme, yeni teknolojilerle enerji üretimini daha verimli hale getirme, mevcut teknolojilerin verimliliğini artırma konularına yönelik politika ve stratejilerin geliştirilmesi ve uygulanması büyük önem arz etmektedir.

Nüfus artışı, sanayileşme ve enerji talebinde artışa, bunlar da kaynak kullanımındaki artışa sebep olur. Böylece daha fazla fosil yakıt kullanımı ile bir zincirleme döngüyü oluşturmaktadır. Bu döngü beraberinde iklim değişikliğine neden olan karbondioksit ve diğer sera gazlarını beraberinde getirmektedir. Dünyayı tehdit eden en büyük çevre sorunlarından biri sera gazı artışı ile küresel ısınmadır.

Evlerde, işyerlerinde, ulaşımda ve endüstride enerji verimliliği uygulamaları uygulanması Enerji geri kazanım uygulamalarının, karbon ayak izini azaltma potansiyeline sahiptir ve çeşitli faydalar sağlayabilir. İşte bu uygulamaların olası sonuçları:



- **Enerji Tasarrufu:** Enerji geri kazanımı uygulamaları, daha az enerji tüketerek çalışabilir. Bu, enerji faturalarını azaltır ve işletme veya hane bütçesine tasarruf sağlayacaktır.
- **Karbon Ayak İzi Azalması:** Enerji geri kazanımı uygulamaları, enerji verimliliği artırarak ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak karbon ayak izini azaltabilir. Bu, iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir rol oynayacaktır.
- **Mali Faydalar:** Daha verimli enerji kullanımı, işletmeler için enerji maliyetlerini düşürebilir. Ayrıca, enerji verimliliği teşvikleri ve devlet destekleri gibi finansal teşviklerden yararlanmak da mümkün olacaktır.
- **Daha İyi Hava Kalitesi:** Karbon ayak izini azaltma çabaları, hava kirliliğini azaltabilir ve insan sağlığını koruyacaktır.
- **Daha Yüksek Verimlilik:** Endüstriyel işletmelerde enerji geri kazanımı uygulamaları, üretim süreçlerinin verimliliğini artırabilir. Daha iyi verimlilik, işletmelerin rekabet avantajı elde etmelerine yardımcı olacaktır..
- **Çevre Koruma:** Enerji geri kazanımı uygulamaları, doğal kaynakların korunmasına ve çevre zararlarının azaltılmasına katkıda bulunacağından atık azaltma ve su geri kazanma gibi uygulamalar, doğal kaynakların korunmasına fayda sağlayacaktır.
- **Daha İyi İş İmajı:** Enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik önemli bir iş pratiği haline geldiğinden, bu tür uygulamalar iş yerleri ve işletmeler için daha olumlu bir iş imajı yaratabilir.
- **Daha İyi İş Sağlığı ve Güvenliği:** Endüstriyel işletmelerde enerji geri kazanımı uygulamaları, işçi sağlığı ve güvenliği konusunda da fayda sağlayabilir. Daha iyi havalandırma ve ısıtma sistemleri, çalışanların rahatlığını artırabilir.
- **Daha Düşük Atık Yönetimi Maliyetleri:** Endüstride atık enerji geri kazanımı uygulamaları, atık yönetimi maliyetlerini azaltabilir. Aynı zamanda, atık üretimini azaltarak çevreye olan olumsuz etkileri azaltır.
- **Daha Az Bağımlılık:** Enerji geri kazanımı uygulamaları, enerji kaynaklarının daha etkili kullanılmasını teşvik eder ve enerji arzının güvence altına alınmasına yardımcı olur.

Sonuç olarak, enerji geri kazanım uygulamaları, hem ekonomik hem de çevresel açıdan bir dizi fayda sağlamaktadır. Hem bireysel kullanıcılar hem de işletmeler, bu uygulamaları benimseyerek enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine ciddi anlamda katkıda bulunabilirler.

KAYNAKÇA

- [1] - Enerji Verimliliği ve İklim Değişikliği, WWF-Türkiye (Doğal Hayatı Koruma Vakfı) İstanbul, Türkiye, 2011
- [2]- "Turkish Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2021", TUİK. April 2023
- [3]- Türkiye Enerji Verimliliği Meclisi (TEVEM), Enerji Verimliliği Derneği (ENVERDER) ve Iconomy: Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu, İstanbul, 2010.
- [4]- "İklim Çözümleri: 2050 Türkiye Vizyonu", WWF-Türkiye (Doğal Hayatı Koruma Vakfı) İstanbul, Türkiye,2009
- [5]- <https://shura.org.tr/turkiye-enerji-donusumu-gorunumu-2022/>
- [6]- www.obi.bilkent.edu.tr/ekookul/pdf/enerjiverimlilik.pdf
- [7]- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı web sitesi, <http://www.enerji.gov.tr/>
- [8] – "Germany's greenhouse gas emissions and energy transition targets", Kerstine Appunn, Freja Eriksen, Julian Wettengel, 2023, <http://www.cleanenergywire.org>



TÜRKİYE'DE SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMADA ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE ETKİN TEKNOLOJİLERİN ÖNEMİ

Prof.Dr.Hüseyin ŞALVARLI

Aziz Nesin Bulvarı , 2041 Sokak, P10, No: 55/58, Mavişehir-Karşıyaka, İzmir

salvarli51@gmail.com

Özet

Sürdürülebilir kalkınma çevresel, ekonomik ve sosyal açılardan dengeli büyüme ve kalkınmayı hedefleyen bir yaklaşımdır. Bu nedenle enerji verimliliği ve etkin teknolojilerin önemi oldukça büyüktür. Türkiye'nin enerji verimliliği ve etkin teknolojiler konusunda ilerleyebilmesi için kamu ve özel sektör işbirliğiyle çeşitli politikaların, yasal düzenlemelerin ve teşvik mekanizmalarının hayata geçirilmesi gerekmektedir. Türkiye enerji kaynakları açısından dışa bağımlıdır ve yüksek enerji ithalatı sorun yaratmaktadır. Sürdürülebilir kalkınmada yerli enerji kaynaklarının kullanımı önemlidir. Enerji verimliliği, yerli kaynakların daha etkin kullanılmasını sağlayarak enerjide bağımlılığın ve dışa bağımlılığın azaltılmasına yardımcı olacaktır. Sürdürülebilir enerji politikaları, enerji arz güvenliğini artırmakta ve enerji kaynaklarına erişimi çeşitlendirmektedir. İklim değişikliği küresel bir sorundur ve küresel bir çözüm gerektirir. İklimle ilgili bazı politikalarda ilave revizyona ihtiyaç vardır. Enerji verimliliği ve etkin teknolojilerin kullanımı, yenilikçi sektörlerin gelişmesini teşvik etmekte ve yerli teknoloji üretimini artırmaktadır. Böylece, yeşil ekonomide fırsatlar ve yeni işler yaratılabilmektedir. Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji çözümleri, özellikle kırsal alanlarda, enerji yoksulluğunun azaltılmasına ve toplumsal refahın artırılmasına yardımcı olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, Etkin teknolojiler, Yenilenebilir enerji, Sürdürülebilir kalkınma, İklim değişiklikleri.

Abstract

Sustainable development is an approach that aims for balanced growth and development in environmental, economic and social aspects. For this reason, energy efficiency and effective technologies are of great importance. In order for Turkey to progress in energy efficiency and effective technologies, various policies, legal regulations and incentive mechanisms need to be implemented in cooperation with the public and private sectors. Türkiye is dependent on foreign sources for energy resources and high energy imports create problems. The use of domestic energy resources is important in sustainable development. Energy efficiency will help reduce energy dependency and foreign dependency by ensuring more effective use of domestic resources. Sustainable energy policies increase energy supply security and diversify access to energy resources. Climate change is a global problem and requires a global solution. Some climate-related policies need further revision. Energy efficiency and the use of effective technologies encourage the development of innovative sectors and increase domestic technology production. Thus, opportunities and new jobs can be created in the green economy. Energy efficiency and renewable energy solutions help reduce energy poverty and increase social welfare, especially in rural areas.

Keywords: Energy efficiency, Efficient technologies, Renewable energy, Sustainable development, Climate changes.

Giriş

Toplam enerji kaynaklarının yaklaşık %81'ini oluşturan fosil yakıt rezervlerinin doğal olarak tükenmesi beklenmektedir. Yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payının 2021'de yüzde 28'den 2030'da yüzde 43'e çıkacağı, 2030 yılında elektrik üretimindeki artışın yaklaşık yüzde 90'ının yalnızca rüzgâr ve güneş



enerjilerinden karşılanacağı öngörülmektedir. Yenilenebilir enerjinin 2050 yılına kadar dünya enerji toplamının yaklaşık %30'unu oluşturması beklenmektedir [1].

Türkiye'nin petrol ve doğalgazda önemli bir ithalat bağımlılığı vardır. Bunların düşük teknolojilerle kullanılması ekonomik olmayan fiyatlarla enerji üretimine neden olmakta ve çevreye zarar vermektedir. Alternatif ve yenilenebilir enerjiler yakın gelecekte yeni istihdam yaratılması, geleceğin sektörlerinin geliştirilmesi ve ekonomik rekabetin önemli bir nedeni olacaktır. Türkiye'de yüksek enerji talebi, ekonomik büyüme, sanayileşme ve nüfus artışı nedeniyle genel enerji politikaları ekonomik ve sosyal kalkınmayı destekleyecek şekilde tasarlanmaktadır. Fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerjinin hem çevresel açıdan güvenli hem de ekonomik açıdan sürdürülebilir bir şekilde kullanılması amaçlanmaktadır.

Tüm endüstriyel tesislerin planlanması ve inşası sırasında çevreye olası etkileri dikkate alınarak ekonomi geliştirilebilir, ekoloji desteklenebilir ve enerji tasarrufu sağlanabilir. Çevrenin korunmasına hizmet ederken enerji yatırımlarının mali boyutu artacak ve yeni bir teknolojinin başarısı maliyet etkinliği parametresiyle ölçülecektir. Bu durumda temiz ve uygun fiyatlı enerji, sürdürülebilir kalkınmanın ilerlemesine katkıda bulunacaktır.

Sürdürülebilir enerji sistemlerine ulaşmak için dikkate alınması gereken bazı parametreler aşağıdaki gibi olabilir:

- Enerji çeşitliliği ve verimliliği,
- Tedarik güvenilirliği,
- Kamu güvenliği,
- Piyasaya duyarlı müdahaleler,
- Piyasa bazlı iklim değişikliği müdahaleleri,
- Maliyeti yansıtan fiyatlar,
- Teknolojik yenilik,
- Enerji sistemlerinin geliştirilmesi ve bölgesel entegrasyon.

Sürdürülebilirlik için birincil enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve ülke kaynaklarının akılcı kullanımı ve düşük maliyetli enerji temini temel konulardır. Sanayi yatırımlarının çevre dostu, temiz teknolojilere dayalı olarak yapılması sürdürülebilir kalkınmayı destekleyecektir [3].

Literatürde verilen verilere göre dünya nüfusu 2030 yılında 8,5 milyara, 2050 yılında ise 9,7 milyara ulaşması beklenmektedir. Dünya nüfusunun yaklaşık %28'ini oluşturan sanayileşmiş ülkeler, dünya enerji üretiminin %77'sini tüketmektedir [4].

Bilindiği gibi enerji tasarrufu ve yerli enerji kaynaklarının kullanılması birçok ülkenin ulusal enerji politikasını oluşturmaktadır. Benzer şekilde çevre sorunları da gelecekte Türkiye'nin enerji kullanım şekillerini etkileyecektir. Çevreyi uygun maliyetli bir şekilde iyileştirmek için, kaynakları korurken dünya çapında artan enerji talebini karşılamak için temiz enerji üretimi gereklidir.

Bir ülkenin enerji kültürü, ulusal karar alma yapısıyla ilişkilidir ve düzenli, istikrarlı, geleneksel ve politikayla ilgili özellikler arasındaki etkileşim olarak seçilebilir. Artan ulusal düşük karbon seviyesi başarılarının seçimler, politikalar ve yatırımlar gibi kültürel eylemlerle güçlü bir şekilde ilişkili olduğu ileri sürülebilir. Her ülkede enerjinin mevcut ve gelecekteki rolleri, düşük karbon seviyelerine yönelik farklı beklentiler ve sonuçlar sunmaktadır [5].

Öte yandan üretim birimlerinin birçoğunun verimsiz, ekonomik olmadığı ve ekolojik standartları karşılamadığı, bu nedenle yakın gelecekte kullanımdan kaldırılması gerektiği ileri sürülmektedir. Bir ülkenin enerji politikasının en önemli dayanakları enerji güvenliği, rekabet gücü, ekonominin enerji verimliliğinin artırılması ve çevre üzerindeki etki faktörleridir [6].

Sürdürülebilir Kalkınma ve Çevre

Fosil yakıtların giderek azalması ve fiyatlarının artması, çevresel etkilerinin azaltılmasına ilişkin sorunlar nedeniyle tüm ülkelerin mümkün olduğunca yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesini gerekmektedir. Öte yandan, iklim sisteminin korunması ve ilgili önlemlerin etkin ve verimli bir şekilde uygulanması, yerel hava kirliliğine ilişkin standartları güçlendirecektir.

Bir ülkenin enerji ihtiyacının karşılanmasında enerjinin üretimi, iletimi, dağıtımı, standart ekipman ve malzemelerin kullanımı gibi konular her zaman önemlidir. Tüketicilerin enerji hizmetleri ihtiyaçlarına göre enerji aktarımı yapan sistemlerin işleyişinin aksamaması gerekmektedir. Teknolojik yenilik ve halkın geleceğin enerji sistemlerine olan güvenini sağlamak için çeşitli alanlarda çalışmalar sürdürülmelidir [1].

Fosil yakıtlara bağımlılık eğilimi halen yüksek ve baskın olmasına rağmen, yenilenebilir enerji sektörlerinin küresel ölçekte geliştirilmesi için özellikle küresel ısınmaya karşı tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu nedenle, geleneksel yakıtlardan çevre dostu seçeneklere geçiş dünya çapında büyük önem taşımaktadır [8, 9].

Fosil yakıtlardan elektrik üretilirken ekosisteme olumsuz etkilerin olduğu açıktır. Ancak fosil yakıtların tüketiminde daha ileri teknolojilerin kullanılmasıyla sera gazı emisyonlarının azalacağı yönünde bir beklentinin olduğu sonucuna varılabilir. Nüfus artışı, enerji talebi, fosil yakıtların enerji üretiminde yoğun kullanımı ve diğer insan faaliyetleri gibi faktörler nedeniyle ekosistemler tehdit altındadır.

Her ülkenin sürdürülebilir kalkınmasını ve kullanımını sürdürebilmesi için bir an önce yenilenebilir enerji kaynaklarına geçmesi gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının temelini yerli kaynaklar oluşturduğundan elektriğe veya sıvı yakıtlara dönüştürülebilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları sürdürülebilir ve yeşil temiz enerji üretimi için fırsatlar sunmaktadır. Temiz ve uygun fiyatlı enerji bu nedenle sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için uygun bir seçenek olacaktır. Ancak yenilenebilir enerji sistemlerinin, uzun vadede hem insanları hem de yaban hayatını etkileyebilecek yerel ve bölgesel iklimi değiştirme potansiyeline sahip olduğu gösterilmiştir [13].

Çevrenin korunmasının planlandığı enerji yatırımlarında büyük finansal kaynaklar önemlidir. Sürdürülebilir kalkınma için elektrik üretim sistemlerinin planlanmasında uygulanabilir teknolojilerin yararları ve geliştirme maliyetleri dikkate alınmalıdır. Tüm endüstriyel tesislerin planlanması ve inşası sırasında; çevreye olası etkileri dikkate alınarak ekonomi iyileştirilmekte, ekoloji desteklenmekte ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

Sürdürülebilir kalkınma, insanların ve dünyanın varlığını sürdürebilmesi için doğal çevrenin sürdürülebilirliği açısından biyolojik çeşitliliği de gerektirmektedir. Çeşitli çevre politikası araçları olarak kabul edilen vergiler, indirimler, emisyon sübvansiyonları ve teknoloji yükümlülükleri ile araştırma ve geliştirme sübvansiyonları ana değerlendirme kriterlerini karşılamaktadır. Öte yandan çevre politikası araçları tarım, ormancılık, balıkçılık, ulaştırma, madde kullanımı ve sağlık gibi alanlarla da ilgilidir [14, 15].

Çevre ile ekonomik ve politik sistemler arasındaki ilişkiler, ekonominin sağladığı güçlü bir analitik çerçeve ile incelenmelidir. Eğer sıkı çevre düzenlemeleri uygulanırsa birçok ülke daha yüksek maliyetlerle ve pazar payı kaybıyla karşı karşıya kalabilir [16, 17].

Sosyal ve kültürel konulardaki engellerin kaldırılmasına ihtiyaç olabilir. Mevcut duruma ve ekonomik sisteme olan inanç değişimin önünde engel olmaya devam edebilir. Gelecekteki sürdürülebilir yaşam tarzlarına ilişkin bazı önemli hususlar şunları içerebilir:

- Toplulukların sorumluluk almasını sağlamak,
- Mal ve hizmetleri paylaşarak işbirlikçi altyapıyı desteklemek,
- Sürdürülebilir seçeneklerin normalleştirilmesi.

Enerji kaynakları



Sorumlu tüketim günümüzün önemli konularından biridir. Küresel kaynak tüketimi, çevresel etkiler, sosyal ve ekonomik kavramlar gibi konulardan dolayı önem kazanmaktadır [18].

Karbonsuz enerji potansiyeli dikkate alındığında fosil yakıtlar yerine yenilenebilir kaynaklar kullanılabilir. Temiz teknolojilere yönelik endüstriyel yatırımların yapılması, kaynakların çeşitlendirilmesi ve kullanılması, düşük maliyetli enerji tedariki sağlamanın yanı sıra sürdürülebilirliği de destekleyecektir. Ancak fosil yakıtlar, 2040 yılına kadar dünyanın enerji arzının sağlanmasında önemini koruyacaktır. Şu anda ağırlıklı olarak elektrik sistemi kömür, doğal gaz ve hidro kaynaklardan tedarik edilmektedir; ancak yarının sistemleri, talep arttıkça pillere, biyoenerjiye ve diğer yenilenebilir kaynaklara, karbon yakalayan fosil yakıtlara, hidrojene ve amonyaka giderek daha fazla bağımlı olacaktır.

Enerji verimliliği

İstikrar, güvenilirlik, sosyal uzlaşma ve bağımsızlık gibi bölgesel enerji değerlerini artıran enerji yenilikleri sayesinde ulusal modernizasyon ve güvenlik fikirleri geliştirilmektedir. Enerji değerlerine ilişkin diğer çalışmalar enerji geçişleri, düşük karbonlu gelecekler ve akıllı şebekelere odaklanmaktadır [19].

Verimlilik ve temiz yakıt sorunu rekabetin artmasına neden olur. Günümüzün yüksek enerji fiyatları daha fazla enerji verimliliğine yol açmaktadır ve bazı ülkelerde enerji kullanımını azaltmak için davranışsal ve teknolojik değişiklikler yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda, yeterli finansman ve stratejik enerji araştırma ve geliştirme tasarımı sayesinde, Türkiye, düşük karbon ve enerji politikası hedeflerine ulaşma yönündeki çabalarını sürdürecektir.

Türkiye'de enerji verimliliği politikasının genel sorumluluğu Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na (ETKB) aittir. Enerji Verimliliği Koordinasyon Kurulu'nun (EVKK) temel sorumlulukları, ulusal enerji verimliliği strateji, plan ve programları yardımıyla enerji verimliliği çalışmalarını etkin bir şekilde uygulamak, yönlendirmek ve kayıp oranlarını azaltmaktır. Türkiye'nin enerji verimliliği, enerji tasarrufu, teknik destek ve farkındalık konularında yeterli çabayı göstermesi gerekir. Bu nedenle, gelecekteki çalışmalarda enerji politikasının öngördüğü hususların ve şeffaflığın mümkün olduğunca sağlanması gerekmektedir.

Enerji yoğunluğu, enerji verimliliğinin ulusal sanayi yapısını oluşturan sektörlerle doğrudan ilişkisini gösteren önemli bir parametredir. Türk sanayisinin enerji yoğunluğu standartların üzerindedir. Örneğin, bu parametrenin değeri OECD ortalamasının iki katı, Japonya ortalamasının dört katıdır. Bu bağlamda, sanayinin birçok alanında, ekipman değişimi ve yeni proses teknolojilerinin kullanılmasıyla enerji verimliliği önemli ölçüde artırılabilir. Türkiye'nin hedeflerine ulaşabilmesi için birincil enerji yoğunluğunun hızla azaltılması ve kamuya ait santrallerin bakım, onarım, rehabilitasyon ve modernizasyon çalışmalarının tamamlanması gerekmektedir.

Öte yandan enerji verimliliği konusunda ulaştırma sektöründe standartların iyileştirilmesi, toplu taşımacılığın teşvik edilmesi, araçların özgül yakıt tüketiminin azaltılması, gelişmiş sinyalizasyon sistemlerinin kurulması gibi bazı politikalara öncelik verilmesi Türkiye açısından önemli olacaktır.

Farklı enerji kaynaklarına sahip olan Türkiye her zaman yatırımcıların ilgisini çekmektedir. Aslında Türkiye'nin dünya enerji piyasalarındaki önemini kaynağı, ülkenin bölgesel bir enerji geçiş merkezi ve büyüyen bir tüketici olmasından kaynaklanmaktadır. Gelecekte enerji talebinin hızla artması beklenmektedir. Sektördeki özel yatırımcılar açısından karbon fiyatlandırma politikasının belirlenmesi önemli gelişmelere yol açacaktır.

Politikalar ve stratejiler

Stratejik hedeflerin ve arz güvenliğinin ana bileşenlerinin üretim ve ithalat, iletim, depolama ve dağıtım altyapısı arz ve talep yönetimi olduğu değerlendirilmektedir. Üstelik Türkiye, enerji tedarik karışımında yeni bir kaynak olarak nükleer enerjiye sahip olma yolunda ilerlemektedir.



Türkiye, Kyoto Protokolü'ne taraf olduğundan, emisyon artışlarının sınırlandırılması ve sürdürülebilir düşük karbonlu enerji ekonomisine geçiş amacıyla hazırlanan planlarda ulusal düzeyde uygun azaltım eylemleri ve gönüllü hedefler benimsenmektedir.

Türkiye ekonomisi hızla büyüdükçe, nüfus ve yaşam standartları arttıkça elektriğe olan talep de artıyor. Bu nedenle lisanssız elektrik üretimi ve yenilenebilir enerjiye ilişkin düzenlemelerde çeşitli değişikliklerin sağlanması için piyasa reformları, elektrik karma çeşitliliği, verimlilik ve çevre standartlarının iyileştirilmesi açısından önemli politika fırsatları yaratılmalıdır.

Hiç şüphe yok ki gelişmekte olan ülkelerin önemli ve büyüyen enerji sorunları vardır. Ne olursa olsun, gelişmekte olan birçok ülke enerji sektörlerini yeniden yapılandırırken bazı avantajlara ve sürdürülebilir yeni ve ileri teknolojilere sahip olabilir. Sürdürülebilir enerji teknolojilerinin genellikle birçok geleneksel teknolojiye göre daha pahalı olması doğaldır.

Son Rusya-Ukrayna savaşının ardından enerji piyasaları ve politikaları etkilenmiştir ve belki de gelecekte değişecektir. Bu nedenle, 2050 yılına kadar net sıfır emisyon hedefine ulaşmak için fiyat artışları ve dalgalanma risklerini azaltırken enerji yatırımlarını büyük ölçüde artırmak gerekecek. Bunun için geniş piyasa kaynaklarından yararlanırken ilgili teşviklerin uygulamaya konulması hayati önem taşıyacaktır.

Enerjinin uygun fiyatlarla tedarik edilmesi ve ulusal enerji ihtiyacının karşılanması, birçok ülke için stratejik planların temel zorluklarıdır. Hükümet politikaları, tüketici harcamalarını azaltırken ve üretim maliyetlerini düzenlerken enerji sübvansiyonları sağlamalıdır. Dolayısıyla devletin üzerindeki yük artacaktır[10].

Birçok ülke ekonomik, sosyal ve endüstriyel gibi parametrelerin sürdürülebilir gelişimini destekleyecek enerji politikaları geliştirmiştir. Hızlı sanayileşme ve insan emeği çevre kirliliğinin artmasının temel nedenleridir. Kullanım, güvenlik, fiyatlandırma, politika, uygulama ve teknoloji gibi enerjiyle ilgili faktörler sürdürülebilir kalkınmanın temellerini kapsayacaktır. Her türlü çevresel değişime karşı önlem alınmasında standartların güçlendirilmesi ve etkin ve verimli bir şekilde uygulanması gerekmektedir.

Bir ülkenin enerji ihtiyacını karşılarken çevresini, kültürel mirasını ve zengin doğal kaynaklarını en iyi şekilde kullanması gerekmektedir. Enerji üretimi, iletimi, dağıtımı ve ticareti ise standart ekipman ve malzeme desteğiyle gerçekleştirilmelidir. Sürdürülebilirlik için yenilenebilir enerjinin enerji karışımına katkısına ilişkin politikanın uygulanmasına ara verilmemelidir [20, 21].

Düşük karbon ekonomisine geçiş sayesinde yenilenebilir enerji üretimi, toplu taşıma ve inşaat sektörlerinin yanı sıra enerji verimli teknolojilerin geliştirilmesi ve üretilmesinde de yeni istihdam yaratacaktır. Kuşkusuz, gelişmekte olan ülkelere yaratılan bu yeni işlerin çoğu eskisinden hem daha güvenilir hem de daha iyi ücretli olacaktır [22].

Esnek kapasiteli iletim ağları, enerji depolama yenilikleri ve yeni standartlar yenilenebilir enerjinin gereksinimleridir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji geliştirme programına uygun herhangi bir sübvansiyon politikası, büyük ölçekli ve bağlantılı ağların entegrasyonu desteklenerek değerlendirilebilir [10].

Enerjide rekabet gücünün artırılması, arzın güvence altına alınması ve çevrenin korunması yenilenebilir enerjilere yönelmenin en önemli stratejisini oluşturmaktadır. Sağlanacak kamu teşvikleri sayesinde; kalkınmaya yön verilecek, maliyetler azalacak, kârlar artacak, güvenilirlik korunacak ve yenilenebilir enerjinin değeri artacak.

Çevre kirliliği

Fosil yakıtlar yüksek oranda kükürt ve kül içerir. Enerji üretiminde kullanılan fosil yakıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin temel sorunları, eski yanma teknolojileri ve eski endüstriyel tesislerin işletilmesi, yetersiz kontrol cihazları ve izolasyon uygulamalarıyla doğrudan bağlantılıdır.



Kömür yakıldığında çevreye ve sağlığa zarar verebilecek karbondioksit emisyonlarının yanı sıra zehirli metaller ve radyoaktif maddeler de açığa çıkarılabilir. Linyit kullanımını enerji güvenliğine katkı sağlamakla birlikte yerel çevre kirliliği ve sera gazı emisyonları açısından risk oluşturmaktadır.

Fosil yakıtların (özellikle kömür) dünyadaki CO₂ emisyonlarının başlıca kaynağı olduğu bilinmektedir. Çoğu yenilenebilir enerji ve nükleer enerji, karbondioksit emisyonlarına doğrudan hiçbir katkıda bulunmaz. Türkiye'nin enerji güvenliği ve hava kirliliği de dahil olmak üzere önemli enerji ve çevre politikası sorunları vardır ve bunların çözümlerinin araştırılması gerekir. Ancak, şu anda Türkiye'nin enerji kaynaklı karbondioksit emisyonları IEA ülkeleri arasında en düşük seviyededir ancak emisyon miktarı hızla artmaktadır [1].

Daha yüksek çevre standartları ve kirlilik kontrollerinin uygulanması amacıyla, Türkiye elektrik piyasasının üretim kısmının özelleştirilmesi ve mevcut santrallerin verimliliğinin ve çevresel performansının iyileştirilmesi hayata geçirilmiştir.

İklim değişikliği ve etkileri

Türkiye'nin amacı, iklim sisteminin korunmasına yönelik politika, strateji ve tedbirlerin, sorumluluklara ilişkin eşitlikçi bir anlayış ve kapasite doğrultusunda hayata geçirilmesidir. Türkiye, enerji verimliliğinin artırılması ve karbon emisyonlarındaki artışın sınırlandırılması da dahil olmak üzere çevresel hedefleri ilerletmek için önemli mevzuat ve düzenlemeler çıkarmıştır. Uygun maliyetli önlemlerle iklim değişikliğinin azaltılmasının enerji güvenliğinin ve çevresel performansın iyileştirilmesine yardımcı olacağına şüphe yoktur.

İklim kaynaklı riskler arasında yer alan sıcak hava dalgaları, kuraklık, aşırı soğuk ve aşırı hava koşulları gibi olaylar hem elektrik şebekelerini zorlamaktadır ve hem de elektrik kesintilerine neden olmaktadır. Ancak, gelişen elektrik karışımı sayesinde iklim etkilerinin bazı yönlerini iyileştirmek mümkün olabilir [1].

Paris Anlaşması kapsamında hazırlanan planlar, uzun vadeli iklim hedeflerine ulaşmayı, hava kirliliğini azaltmayı ve evrensel enerji erişimini sağlamayı amaçlamaktadır. Temiz enerji teknolojileri ve buna bağlı diğer girdiler, temiz enerjiye geçişin hızlandırılmasına bağlı olarak küresel üretim kapasitesinde büyük artışlar sağlamaktadır. İklim hedefleri doğrultusunda emisyonları azaltmak için endüstriyel zorluklarla mücadele etmek hayati önem taşır. Böylece pazar fırsatlarından yararlanabilecek durumda olan şirket ve ülkelerde istihdam yaratılması sağlanmaktadır.

Atmosferdeki karbondioksit seviyelerinin azaltılması, iklim değişikliğinin yavaşlatılmasına ve gelecek nesiller için daha iyi bir dünyanın sağlanmasına yardımcı olabilir. Ancak karbon vergilerinin karbon emisyonlarını azaltmadaki etkinliği beklenildiği gibi değildir. Temiz enerji üretimi için geleceğe yönelik uygun politikalar aynı zamanda enerji emisyon hedefleri, karbon vergileri ve iletim ve dağıtım kaybı iyileştirmeleriyle de ilgilidir [23, 24, 25].

İklim değişikliği azaltım politikaları iyi tasarlanmalı ve dikkatle uygulanmalıdır. Bu sayede yoksulluğun azaltılmasına yönelik sosyal ve ekonomik yan faydalar yaratılacaktır. Cinsiyet, sağlık ve ekonomik eşitsizlikler gibi konuların gözden geçirilmesi mümkün olacaktır [22]. İklim değişikliğinin neden olduğu davranışsal zorluklar temelde sosyal etki sorunlarıdır. Ancak sosyal normların temsili iklim değişikliğini iletilebilir [26, 27].

Karbon vergisinin iklim değişikliğinin zorluklarını, kapsamlı bir şekilde ele almanın ve sera gazı emisyonlarını azaltmanın yolları, 2015 Paris İklim Görüşmeleri'nde ana hatlarıyla belirtilmiştir. Bu nedenle, elektrik üretiminin sera gazı emisyonlarını azaltacak şekilde sürdürülebilmesi için üreticilere ve tüketicilere ekonomik teşviklerin sağlanması gerekmektedir.

Gelişmiş ülkelerin karar vericileri çoğu zaman sosyal refahı iyileştirmeyi ve değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu nedenle, iklim değişikliğinin etkilerini azaltan ve uzun vadede enerji tasarrufu sağlayan, enerji açısından

daha verimli yeşil teknolojileri hayata geçirmeyi planlamalıdır. Gelişmekte olan ülkeler ise sosyal ve çevre dostu uygulamaları destekleyerek üretilen mal ve hizmetlerin toplam değerini artırmayı amaçlamaktadır [29, 30].

İklim dostu enerji sistemleri, sürdürülebilir enerji gelişiminin desteklenmesini gerektirecektir. İklim değişikliği aşağıdaki gibi değişikliklere neden olabilir:

- Ortalama yağış değeri,
- Yağmurun coğrafi dağılımı,
- Mevsimsel yağış düzenleri,
- Ortalama sıcaklıklarda artış.

Küresel ölçekte geçmişte uygulanan uluslararası protokoller, anlaşmalar ve benzeri konular iklim değişikliğine karşı önlem alınması konusunda geniş bir katılım ve farkındalık yaratmaktadır. İklim eyleminde öncelikler şehirlerin coğrafyasına, nüfusuna ve sosyo-ekonomik yapısına bağlı olarak değişebilmektedir. Şehirlerdeki emisyon azaltımına yönelik en büyük potansiyel; binalar, ulaşım, enerji tedariği ve atık depolama alanlarındaki eylemlerle ilgilidir.

Bilindiği gibi iklim değişikliğiyle mücadele için uluslararası koordineli bir müdahale planına ihtiyaç duyulacaktır. Ayrıca, iklim değişikliğinin kuraklıkların sıklığını ve süresini arttırması, su talebini artırması ve su arzını azaltması beklenir. Doğru reformlar uygulandığı sürece olumsuz yağış eğilimlerine karşı insanlara ve ekosistemlere yardımcı olmak için yeterli önlemler alınabilir [17, 31]. Şühesiz, oluşabilecek zararlardan dolayı varlıkların fonksiyonları bozulacaktır.

7 Etkin teknolojiler

Ekonominin büyümesi yoluyla net kazanç elde edebilmek için yenilenebilir enerjinin toplam nihai net enerji tüketimi ve toplam sera gazı emisyonları içindeki payının da dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerjinin payının belirlenmesinde kredi piyasası ve borsanın etkili olacağı bilinmektedir [29]. Beklendiği gibi küresel yenilenebilir enerji piyasası, fiyatlar düştükçe ve düzenleyici ve finansal girişimler arttıkça büyüyecektir. Fiyatlardaki düşüş talebi arttıkça küresel yenilenebilir enerji piyasasının büyümesi giderek hızlanacaktır.

Düşük karbon politikaları uygulayan ülkeler teknolojik yenilik için yeni pazarları teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Enerji üretimi, iletimi, dağıtımını ve ticaretini desteklemek için standartlaştırılmış ekipman ve malzemeler de kullanılmalıdır [7, 32].

Elektrik ve elektrifikasyona yapılan yatırımlar, genişletilmiş ve modernize edilmiş şebekeler, elektrik maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Bu durumda, emisyonların daha uygun maliyetli bir şekilde hızlı bir şekilde azaltılması sağlanır. Anlaşılacağı üzere, bugünkü büyüme oranları sürdürülürse güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, elektrikli araçlar ve bataryaların yaygınlaşması sayesinde çok daha hızlı bir dönüşüm yaşanacaktır.

Fırsatlar ve zorluklar göz önüne alındığında temiz enerji teknolojileri yaygınlaşmaktadır. Küresel teknoloji eğilimleri, endüstrilerin rekabet gücünü ve gelecekteki gelişimini etkileyebilir. Sanayide dışa bağımlılığın azaltılması için inovasyon ve teknolojiye ilişkin sorunların tespit edilmesi gerekmektedir. Günümüzde teknolojilerin gelişimini iyileştirmeye yönelik başlıca uluslararası eğilimler şunlardır [1]:

- Teknoloji birliği,
- Bilgi ve iletişim teknolojisi,
- Dijitalleştirme,
- Yüksek teknoloji endüstrilere vurgu yapılması,
- Yabancı şirketlerin öneminin bilincinde olmak.



Enerji karışımında uygun bir enerji kaynağının seçimi çeşitli faktörlere bağlıdır. Yenilenebilir ve alternatif kaynaklar dikkate alınırken teknolojik yenilik, maliyet verimliliği, enerji depolama teknolojisi ve artan tüketici talebi gibi faktörlerin dikkate alınması önemlidir.

Etkin teknolojilerin geliştirilmesi, yüksek araştırma ve geliştirme yoğunluğu, hızlı yenilik döngüleri, yüksek sermaye harcamaları ve yüksek vasıflı istihdam gibi faktörlere bağlıdır. Girişimleri destekleyen ana aktivasyon teknolojileri, küresel zorluklara çözüm bulmak, yeni ürünler üretmek, ekonomik büyümeyi teşvik etmek ve istihdam sağlamaktır. Ayrıca mevcut olanak sağlayan teknolojiler, yeni malzemeler, üretim sistemleri, elektronik, nanoteknoloji, endüstriyel biyoteknoloji, fotonik gibi küresel trendlerle ilişkilidir [7].

Teknolojiler daha etkin hale getirilerek yeni pazarlar yaratılmış, büyüme ve istihdam hızlandırılmıştır. Özetle, teknolojik gelişmeler ve girişimler, enerji verimliliğini, yenilenebilir enerji üretimini ve enerji depolamayı teşvik ederek ileri malzemelerin oluşturulması ve ileri proses teknolojilerinin ve endüstriyel biyoteknolojinin geliştirilmesindeki ihtiyaçları karşılamaktadır.

Dijital teknolojilerin ileri süreçlerde kullanılması, etkili iş modellerinin ve yeni müşteri deneyimlerinin yaratılmasını kontrol eder. Öte yandan, CO₂'i değerli bir kaynağa dönüştürecek teknolojilerin geliştirilmesi ve bunların polimer üretiminde uygulanması, petrol kullanımının azaltılmasına yardımcı olması açısından önemlidir. Proses teknolojilerinin doğası gereği girdi hammaddeleri farklı kimyasal bileşim yapılarına ve özelliklerine sahip malzemelere dönüştürülür. Özel bir teknoloji türü olan ileri proses teknolojileri, inşaat, otomotiv, medikal, elektronik ve enerji gibi tüm sektörlerde her türlü katı, gazlı ve sıvı malzemenin tedarikini sağlamaktadır.

Hibrit fotovoltaik/termal (PV/T) sistem ile güneş enerjisi hem elektrik hem de termal enerjiye dönüştürülerek binaların enerji ihtiyaçları karşılanabilmektedir. PV/T sistemlerin performans analizinin çalışma şartlarına uygun olarak tasarlanması önemlidir. Güneş enerjisinin birçok avantajı vardır ve diğer enerji kaynaklarına göre daha rekabetçidir. Rüzgar enerjisinin temel zorlukları teknik, sosyal ve çevreseldir. Her şeye rağmen rüzgar enerjisi yeşil çevrenin korunmasında tüm ülkeler için etkili bir tercih olabilir [33, 34].

Yorumlar

Türkiye için fosil yakıtların elektriğe katkısı %70 civarındadır. Doğal gazın ithal edilmesi nedeniyle Türkiye açısından dış ticaret açığı ve arz riski yüksek olduğundan, doğal gazın elektrik üretimindeki payının %38'e düşürülmesi hedeflenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, Türkiye'nin enerji ve çevre hedeflerine ulaşmasında, istihdam yaratılmasında ve geleceğin sanayilerinin geliştirilmesinde büyük önem taşımaktadır.

İklim değişikliğine ilişkin politikalar hazırlanırken Türkiye'nin dikkat etmesi gereken konular öncelikle enerji senaryolarının vakit kaybetmeden güncellenmesi ve maliyet etkinliğinin gözden geçirilmesidir. Böylece piyasa reformu, çevre ve enerji verimliliği ile ilgili kaynakların genişletilmesi sayesinde planlanan hedeflere ulaşmak mümkün olacaktır.

Bu durumda ortaya çıkabilecek faydalar arasında maliyetlerin %80'e kadar azaltılması, %30'a kadar enerji tasarrufu ve gelecekte küresel ısınmanın yavaşlatılmasına katkıda bulunulması sayılabilir. Bu sayede, maliyetler kontrol altına alınır ve sürdürülebilir ilerleme sağlanır. Daha az, daha temiz enerji kullanarak gücün artırılmasına yardımcı olmak için ülke genelinde binalarda, endüstriyel tesislerde, ulaşım sistemlerinde ve elektrik altyapısında birçok enerji verimliliği teknolojisi uygulaması takip edilmelidir.

Türkiye'de büyüme talebinin güvenilir bir şekilde karşılanması, yeni ve yenilenebilir projeler de dahil olmak üzere tüm projelerin hızla, öngörülen sürede tamamlanmasıyla yakından ilgilidir. Türkiye'nin geliştirdiği enerji verimliliği projeleri sanayi, ulaşım ve konut sektörlerinde hedeflere hizmet edecek şekilde hayata geçirilmesi sürdürülmelidir. Ayrıca, fiyat ve piyasa reformlarının daha verimli tüketime yol açacağı düşünülebilir.



Gelecekte, yeni verimli teknolojiler şüphesiz çevresel maliyetleri azaltmanın daha akıllı yollarını bulacaktır. Böylece, atık sorunu olmayan, güvenilir ve ekonomik şartlarda enerji sistemleri ön plana çıkacaktır. Yenilenebilir enerjinin geliştirilmesi ve kullanılması her alanda iyileşmelere ve aynı zamanda istihdamın artmasına yol açacaktır. Günümüzün enerji talebi, yenilenebilir enerji için büyük bir pazarın teşvik edilmesinin kaçınılmaz olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, yenilenebilir teknolojilere yapılan yatırımların yenilenebilir enerji ihtiyacına önemli katkılar sağladığı görülecektir.

Net sıfır emisyonla ulaşma süreci sürdürülebilir güvenlik faydaları sağlarken bazı riskleri de oluşturabilir. Karmaşık bir yapıya sahip olan enerji sistemleri, geleneksel enerji güvenliği risklerinin yanı sıra yeni güvenlik sorunlarını da beraberinde getirebilmektedir. Gelecekteki karbondan arındırma yollarına ilişkin olarak, iklim değişikliğinin kapsamı ve bunun enerji üzerindeki etkisi, ülkelerin enerji kültürlerinin durumuna göre belirlenecektir.

İklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasına, enerji harcamalarının en aza indirilmesine ve enerji davranışlarının iyileştirilmesine yardımcı olabilecek başarılı uygulamalarda politika yapıcıların katılımı ve desteği çok önemli bir yere sahiptir. Ülkelerin bütçe gelirlerinde beklenen artış, uzun vadede çevresel vergilendirme ve eko-inovasyonla ilişkilendirilecektir.

Enerji altyapı planlaması desteklenerek önemli adaptasyon yatırımları belirlenerek enerji varlıklarının değerinin korunması ve normal işleyişi sağlanabilir. Hükümetler, iklim riski değerlendirmelerinin benimsenmesinin ardından yapılabilecek teşvikleri sağlamalıdır.

Artan küresel sıcaklıklar soğutmayı gerektireceğinden, enerji talebinin en yüksek olduğu dönemlerde elektrik şebekelerinde ilave yük oluşabilir. Benzer bir durumu yoğun soğuk nedeniyle elektrik talebindeki artışta da görmek mümkündür. Bu nedenle, hava olaylarının neden olduğu olumsuz etkilere karşı elektrik sistemlerini güvenilir hale getirecek çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Güvenilir iklim ve hava durumu, verilerinin kamuya açık hale getirilmesiyle yakından ilişkilidir. Böylece mevzuat ve mali destek yoluyla sistemlerin dayanıklılığına yönelik yatırımlar yapılabilir.

Yeşil kimya ile ilgili birçok enerji verimliliği sağlayan teknoloji ve süreç uygulanmaktadır. Böylece yeşil kimyanın hedefleri uzun vadede maliyetlerin düşürülmesi, enerji tasarrufu sağlanması, enerji ihtiyacına önemli katkı sağlanması, kirliliğin kaynağında azaltılması ve küresel ısınmanın yavaşlatılmasına yardımcı olarak gerçekleştirilecektir.

Enerji teknolojilerinin etkinleştirilmesinde ve güvenli bir ortamın sağlanmasında bazı nadir ve hayati unsurlara ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin lityum, kobalt, bakır, nikel, germanyum, neodimyum gibi kritik mineraller önemli bileşenlerdir. Geri dönüşüm, elektrikli araç aküsünün yeniden kullanımı ve son kullanıcı enerji verimliliği önlemlerinin yanı sıra mineral yoğunluğunun azaltılması ve temel uygulamalarda mineralin değiştirilmesi konularında daha fazla Ar-Ge'ye ihtiyaç vardır.

Kaynakça

- [1] IEA. (2022). World energy outlook 2022. Paris, France: IEA.
- [2] Pouris, A. (2012). Technology trends: A review of technologies and policies. *Institute for Technological Innovation, Business Enterprises at University of Pretoria (Pty) Ltd, Pretoria*, 61-62.
- [3] ETKB. (2023). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://www.enerji.gov.tr/anasayfa>.
- [4] FAME. (2022). United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3. <https://www.un.org/content>. (16 August 2023, date last accessed).
- [5] Stephenson, J. R., Sovacool, B. K., & Inderberg, T. H. J. (2021). Energy cultures and national decarbonisation pathways. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110592.

- [6] Gawlik, L., & Mokrzycki, E. (2019). Changes in the structure of electricity generation in Poland in view of the EU climate package. *Energies*, 12(17), 3323.
- [7] Salvarli, M. S., & Salvarli, H. (2020). For sustainable development: Future trends in renewable energy and enabling technologies. In *Renewable energy-resources, challenges and applications*. IntechOpen.
- [8] Rauniyar, N. K., Pujari, S., & Shrestha, P. (2020). Study of oxygen saturation by pulse oximetry and arterial blood gas in ICU patients: a descriptive cross-sectional study. *JNMA: Journal of the Nepal Medical Association*, 58(230), 789
- [9] Wu, J., Zuidema, C., & Gugerell, K. (2018). Experimenting with decentralized energy governance in China: The case of New Energy Demonstration City program. *Journal of Cleaner Production*, 189, 830-838.
- [10] Tampubolon, B. D., & Setyoko, A. T. (2019). Controlling policies on fossil fuels subsidies to overcome climate change. *Energy Economics Letters*, 6(1), 1-16.
- [11] Özgül, S., Koçar, G., & Eryaşar, A. (2020). The progress, challenges, and opportunities of renewable energy cooperatives in Turkey. *Energy for Sustainable Development*, 59, 107-119.
- [12] Kalu, S., Koirala, M., Khadka, U. R., & Anup, K. C. (2015). Soil quality assessment for different land use in the Panchase area of western Nepal. *International Journal of Environmental Protection*, 5(1), 38-43.
- [13] Mabvuto Ngwira, P. (2019). A Review of Geotourism and Geoparks: Is Africa missing out on this new mechanism for the development of sustainable tourism?. *Geoconservation research*, 2(1), 26-39.
- [14] Arbuckle, E. J., Binsted, M., Davies, E. G., Chiappori, D. V., Bergero, C., Siddiqui, M. S., ... & Macaluso, N. (2021). Insights for Canadian electricity generation planning from an integrated assessment model: Should we be more cautious about hydropower cost overruns?. *Energy Policy*, 150, 112138.
- [15] Goulder, L. H., & Parry, I. W. (2008). Instrument choice in environmental policy. *Review of environmental economics and policy*.
- [16] Pimonenko, T. V., Liulov, O. V., Us, Y. O., Kwilinsky, A. S., Nazarenko, A. P., & Myroshnychenko, Y. O. (2021). Renewable energy generation in the energy balance: the forecast until 2035.
- [17] Tietenberg, T., & Lewis, L. (2018). *Environmental and natural resource economics*. Routledge.
- [18] Lakatos, E. S., Cioca, L. I., Dan, V., Ciomos, A. O., Crisan, O. A., & Barsan, G. (2018). Studies and investigation about the attitude towards sustainable production, consumption and waste generation in line with circular economy in Romania. *Sustainability*, 10(3), 865.
- [19] Levenda, A. M., Richter, J., Miller, T., & Fisher, E. (2019). Regional sociotechnical imaginaries and the governance of energy innovations. *Futures*, 109, 181-191.
- [20] Ntanos, S., Skordoulis, M., Kyriakopoulos, G., Arabatzis, G., Chalikias, M., Galatsidas, S., ... & Katsarou, A. (2018). Renewable energy and economic growth: Evidence from European countries. *Sustainability*, 10(8), 2626.
- [21] Kuo, P. Y. (2015). The impacts of energy trends and policies on Taiwan's power generation systems. *Asian Growth Research Institute*.
- [22] Markkanen, S., & Anger-Kraavi, A. (2019). Social impacts of climate change mitigation policies and their implications for inequality. *Climate Policy*, 19(7), 827-844.
- [23] Jung, J., Jung, S., Lee, J., Lee, M., & Kim, H. S. (2021). Analysis of small hydropower generation potential:(2) future prospect of the potential under climate change. *Energies*, 14(11), 3001.
- [24] McLaughlin, C., Elamer, A. A., Glen, T., AlHares, A., & Gaber, H. R. (2019). Accounting society's acceptability of carbon taxes: Expectations and reality. *Energy Policy*, 131, 302-311.
- [25] Awopone, A. K., & Zobia, A. F. (2017). Analyzes of optimum generation scenarios for sustainable power generation in Ghana.
- [26] Şalvarlı, M. S. (2023). Some views on renewable energy marketing due to climate change impacts. *Dünya Multidisipliner Araştırmalar Dergisi*, 6(1), 161-180.
- [27] Sparkman, G., Howe, L., & Walton, G. (2021). How social norms are often a barrier to addressing climate change but can be part of the solution. *Behavioural Public Policy*, 5(4), 528-555.

- [28] Luo, N., Li, M., & Yu, X. (2020, June). Natural Gas Power Generation Trends from a Technological Paradigm Perspective. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1549, No. 4, p. 042144). IOP Publishing.
- [29] Zaharia, A., Diaconeasa, M. C., Brad, L., Lădaru, G. R., & Ioanăș, C. (2019). Factors influencing energy consumption in the context of sustainable development. *Sustainability*, 11(15), 4147.
- [30] de Vries, G. (2020). Public communication as a tool to implement environmental policies. *Social Issues and Policy Review*, 14(1), 244-272.
- [31] Wolfson, A., Ayalon, O., & Tal, A. (2020). A Strategic analysis of national electricity generation alternatives: a perspective from the future. *Journal of Environmental Science and Public Health*, 4(3), 282-295.
- [32] Levidow, L., & Raman, S. (2020). Sociotechnical imaginaries of low-carbon waste-energy futures: UK techno-market fixes displacing public accountability. *Social studies of science*, 50(4), 609-641.
- [33] Athukorala, A. U. C. D., Jayasuriya, W. J. A., Ragulageethan, S., Sirimanna, M. P. G., Attalage, R. A., & Perera, A. T. D. (2015, April). A techno-economic analysis for an integrated solar PV/T system with thermal and electrical storage—Case study. In *2015 Moratuwa Engineering Research Conference (MERCOn)* (pp. 182-187). IEEE.
- [34] Devabhaktuni, V., Alam, M., Boyapati, P., Chandna, P., Kumar, A., Lack, L., ... & Wang, L. (2010). Wind energy: Trends and enabling technologies.

ISO 50001 ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİNİN ÖNEMİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARINDAKİ ETKİSİNİN ANLAŞILMASI

Yazar : Mak. Müh. Zekiye Aydemir
MMO İZMİR şube, YEKEV Komisyonu Üyesi
zekiye.aydemir@heliza.com.tr

ÖZET

ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi (EnYS) standardı tüm dünyada uygulanan ve “sürdürülebilir kalkınma” için, stratejik, politik, yasal, çevresel ve ekonomik öneme sahip bir yönetim sistemi standardı olarak son yıllarda hızla yaygınlaşan bir standart olmuştur.

Türkiye'de de, dünya enerji politikalarına uyum çerçevesinde pek çok ülkede olduğu gibi, ISO 50001 EnYS'e göre belgesinin olması, belirli enerji tüketim kriterlerine sahip kurum ve firmalar için mevzuat olarak zorunlu tutulur. Bununla birlikte, ulusal enerji ve çevre politikalarına uyum, teknik uygulamaları kolaylaştırma ve enerji maliyetlerini azaltma yönüyle tüm kurum ve kuruluşlara ISO 50001 yönetim sisteminin uygulanması stratejik karar niteliğinde tavsiye edilir.

ISO 50001 standardına göre başarılı bir Enerji Yönetim Sistemi kuran bir işletme, etkin bir enerji yönetimi prosesi oluşturmakla enerji performansının iyileşmesiyle kalmaz, enerji verimliliği ile ilgili yasal ve teknik mevzuatlara uyumunu kolaylaştırır. ISO 50001 EnYS'nin, diğer yönetim sistemlerinden daha çarpıcı avantajı ise, işletme maliyetlerinde çok önemli bir kalem olan enerji maliyetlerinin hızla aşağı düşmesine ve enerji israfından kaçınan kurum ve yerel toplum kültürü oluşmasına kadar kritik önemde avantajlarının olmasıdır.

Bu sunum ISO 50001 EnYS ile işletmelere getireceği avantajları açıklamakta ve EnYS uygulamalarında enerji ekibiyle, kalite yönetimi ekiplerine düşen, bazı pratik uygulama örneklerini içermektedir.



Anahtar Kelimeler: ISO 50001:2018, Belgelendirme, EnYS, Sürdürülebilirlik, Enerji Verimliliği, Yasal Uyumluluk, Enerji Verimliliği Projeleri (VAP), Teşvikler

ISO 50001 Energy Management System (EnMS) standard has become a standard that is applied all over the world and has become rapidly widespread in recent years as a management system standard of strategic, political, legal, environmental and economic importance for "sustainable success".

In Turkey, as in many countries within the framework of compliance with world energy policies, having a certificate according to ISO 50001 EnYS is required by legislation for institutions and companies with certain energy consumption criteria. In addition, the implementation of the ISO 50001 management system is recommended as a strategic decision for all institutions and organizations in order to comply with national energy and environmental policies, facilitate technical applications and reduce energy costs.

A business that establishes a successful Energy Management System according to the ISO 50001 standard not only improves its energy performance by creating an effective energy management process, but also facilitates compliance with legal and technical regulations regarding energy efficiency. The more striking advantage of ISO 50001 EnMS over other management systems is that it has critical advantages such as rapidly decreasing energy costs, which is a very important item in operating costs, and creating a corporate and local community culture that avoids energy waste.

This presentation explains the advantages that ISO 50001 EnMS will bring to businesses and includes some practical application examples for the energy team and quality management teams in EnMS applications.

Key Words: ISO 50001:2018, Certification, EnMS, Sustainability, Energy Efficiency, Legal Compliance, Energy Efficiency Projects (VAP), Incentives

ISO 50001 Enerji Yönetim Sisteminin Gerekliği Sürdürülebilirlik, Sürdürülebilir Başarı için:

ISO 50001:2018 Enerji Yönetim Sistemi standardı öncelikle, işletmelerde etkin bir enerji yönetim sisteminin (EnYS) kurulması, uygulanması, kontrol edilmesi ve sürekliliğinin sağlanması için gereklilikleri tanımlayan ve ISO 9001 kalite yönetim sistemiyle birlikte entegre edilmesi tavsiye niteliğinde olan bir standarttır. ISO 50001 EnYS tamamen işletmenin özgün yapısına, gerekli teknik ve yasal mevzuatlara uygun olarak kuruluşa göre özgün tasarlanan bir sistem mühendisliğidir. ISO 9001 KYS ile ilişkilendirilmesinin pratik olarak uygulama kolaylığı sunacağı gibi aynı zamanda ISO 14001 Çevre yönetim sistemi uygulamalarında da benzerlikler olacağı ve karbon ayak izlerinin ölçülmesini, emisyon ve su tüketimlerinin azalmasını ortak çerçevede hedeflediği için, işletmelerde bütünleşik yönetim sistemleri kurulmasını teşvik eden bir rol üstlenmesini ilk avantajlarından birisi olarak bahsetmek mümkündür. Yani ISO 50001, işletmelerde kalite, çevre ve hatta makine ve ekipmanlardaki bakım kriterleri ve riskleri ele alması nedeniyle İş Sağlığı ve Güvenliği konularına kadar bütünleşik bir sistem kurulumunu özendirir, hatta zorlar ve dolayısıyla tüm yönetim sistemlerinin temel amacı olan “sürdürülebilir kalkınma” hedeflerinin gerçekleşmesinde destek verir.

Yasal mevzuatlara uyum için ¹⁾:

Belirli enerji tüketimi değerleri ve kriterlere sahip kurum ve kuruluşlarda ISO 50001 EnYS belgesinin olması zorunlu tutulur. RG 28097 sayılı Enerji Kaynaklarının Ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik kapsamında madde 8'e göre ve Resim 1'de şematize edilen niteliklerdeki işletmeler başka deyişle enerji yöneticisi görevlendirmekle yükümlü endüstriyel için aynı zamanda "TS EN ISO 50001 Enerji Sistemini kurmalı, yürütmeli ve yönetim belgelendirmelidir" şeklinde ifade kullanılır. ayrıca, TURKAK akreditasyonu olan veya tarafından kabul gören diğer ulusal akreditasyon kuruluşları tarafından, akreditasyonu sağlanmış bağımsız bir tarafından verilmiş olması mevzuatta



kısaca
veya bir
işletmeler
Yönetim
sistemini
Belgenin
TURKAK
kuruluş
tariflidir.

Resim 1²⁾ : <https://enerji.gov.tr/evced-enerji-verimliliği-egitim-uzantılı> Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı web sayfasından alınmıştır.

İyileştirme Projeleri (VAP) Başvurusu ve Teşviklere yönelik mevzuatlar gerekliliği:

Verimlilik Artırıcı Proje (VAP)¹⁾ : Enerji verimli ekipman ve sistem kullanımı, yalıtım, rehabilitasyon ve proses düzenleme gibi yollarla; gereksiz enerji kullanımının, atık enerjinin, enerji kayıp ve kaçaklarının önlenmesi veya en aza indirilmesi ile birlikte atık enerjinin geri kazanılması, kojenerasyon sistemleri gibi konulardaki çözümleri de kapsayan projelerdir.

Yıllık toplam enerji tüketimleri 500 TEP (ton eşdeğeri petrol) ve üzeri olan ticaret ve sanayi odası, ticaret odası veya sanayi odasına bağlı olarak faaliyet gösteren ve her türlü mal üretimi yapan endüstriyel işletmeler VAP desteklerinden yararlanmak için başvuruda bulunabilirler. Ancak bu teşviklerden yararlanabilmek için ön koşul ISO 50001 yönetim sistemi belgesine sahip olmasıdır.

Bununla birlikte önemli olan bir başka husus da, VAP projelerinin başvuru süresi içerisinde henüz ISO 50001 belgesi alınmadıysa dahi, işletmenin EnYS kurmakla ilgili belirli bir adım atmış olduğunun ve tarafsız ve "akreditasyonu geçerli" olan bir kuruluşla sözleşme yapmış olduğunun kanıtlanması ile başvurularını yapabiliyor olmasıdır. Ancak VAP teşvikleri alınmadan önce belgelendirmenin tamamlanmış olması gerekmektedir.

Enerji Verimliliğine yönelik diğer yasal ve teknik şartlara uyumu kolaylaştırıcı etkisi için:

Enerji Verimliliği konusundaki yönetmeliğe göre ve yıllık toplam enerji tüketimi resim 1'de verildiği gibi enerji yöneticisi bulundurmakla yükümlü (belirli seviyede enerji tüketen) işletmeler belirli sürelerde yetkili EVD şirketlerine etüt yaptırmak veya mevzuata uygun şartları sağladığı takdirde yetkili personeline etüdü yaptırmak durumundadır. Bu çalışmalar yürütülürken dahi işletmenin ISO 50001 enerji yönetim sistemi alt



yapısının olması ve kurulması çok önemlidir. Etüt sonrası takip edilmesi ve uygulamaya alınması gereken eylem planlarının başarısı için önemlidir.

Yine yönetmelik şunu zorlar; “ISO 50001 yönetim sistemini kurulması zorunluğu” olan işletmeleri kastederek, bu kapsamdaki “işletmelerin, enerji verimliliği ve kendi sahasına veya faaliyetlerine özgün kullanılabileceği yenilenebilir enerji kaynakları konusunda bilgi ve bilinç düzeyini artırması” gerektiğinden, bahseder. Bu ise ilgili işletmedeki çalışanların konularla ilgili eğitimi yanında, etkin bir organizasyon modeli ve sektöre uygun diğer yönetim sistemi standartlarının (ISO 9001, ISO 14001 gibi) uygulamaya alınması ile mümkündür. ISO 50001:2018 EnYS standardı yine bu gerekliliği kolaylaştırıcı modeller önermektedir.

Tüm çalışanlar, iş sahalarındaki enerji israfları ve tekrarlardan kaçınması, makine ve ekipmanların en uygun kullanımına kadar her düzeyde enerji verimliliğine yönelik çalışmalar gerçekleştirmesi veya öneriler getirmesine teşvik edilmelidir. ISO 50001 insan kaynaklı üretim hatalarının azalmasında da bir bilinç yaratır

ISO 50001 EnYs işletmelere bunların yanısıra, üretim proseslerinde optimum tasarımların yapılması, makine ve ekipmanların kritik işletme parametrelerine, bakım gerekliliklerine enerji odaklı yaklaşım ile üretim verimliliği gibi indirekt avantajları kazandırır.

Rekabette Öne Çıkma ve Maliyetlerde Sürekli İyileşme için ISO 50001'in avantajları:

Enerji maliyetleri işletmenin fiyat politikasını ve pazarda rekabet şansını önemli ölçüde etkileyen bir unsurdur. Yasal ve teknik mevzuatların yanısıra işletme maliyetlerinin en önemli kalemlerinden birisi olan enerji maliyetlerinin düşürülmesinde enerji verimliliği yönetimi yanında, ISO 50001'e göre kurulmuş olan enerji yönetim sistemi uygulamalarının çok önemli bir rolü vardır. Enerji Verimliliğinin sürekliliği, bunun kurumsal bir kültür haline dönüşmesi ancak etkin bir ISO 50001 yönetim sistemi kurulması ile mümkündür.

Diğer taraftan enerji verimliliğini etkileyen her türlü satınalımda ürün veya hizmetin enerji verimliliğini direkt veya indirekt olarak etkilemesine göre, satınalım şartnamelerine yansıtılmasına, enerji enerji verimli ekipman ve makinaların satınalım şartnameleri oluşturulmasına ve böylece topyekün bir bilinçlenme, yan sanayide de enerji verimliliğinin teşvik edilmesi ve iyi uygulama örneklerinin yaygınlaşmasına hizmet etmektedir.

Maliyetlere yönelik iyileşmenin yanısıra, enerji politikası oluşturmuş bir işletmenin daha çevreci yaklaşımlarla itibarı artmakta, toplum ve ilgili diğer taraflara enerji bilincinin yaygınlaşmasında ve sürdürülebilir bir dünya amacı için sürekli iyileşmeye katkısını bir imaj olarak sergileyebilmektedir.

ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi Önündeki Zorluklar ve Farkındalık Mevcut Durum ve Öneriler:

Türkiye'de enerji yönetim sisteminin kurulması ve ISO 50001 uygulamalarının devreye alınma istekliliği hızla artmaktadır. Ancak, yeterli değildir, önünde engeller vardır ve çok yavaş ilerlemektedir. ISO 50001 belgesinin zorunluluğu ise ilgili endüstriyel işletmeler için 2023 sonuna kadar alınması şeklindeki karara rağmen bugün geldiğimiz noktada henüz az sayıda işletmenin bu belgelendirmeyi sağladığı görülmektedir.

Bununla birlikte bu sürecin sadece prosedür ve iş talimatlarından oluşan bir dokümantasyon çalışması olmadığını veya sadece işletmelerdeki bakım personeli ve teknik ekiplerin işi olmadığını bilinci dahi hala pek çok kuruluşta ve mesleki sahada yaygınlaşmamıştır. Çok hızlı bir şekilde enerji verimliliği mevzuatları yanında, teknik mevzuatların ve enerji yönetim sistemi konusundaki “sistem mühendisliğinin” tüm ilgili mesleki sahalarda yaygınlaştırılmasına ihtiyaç vardır. Üretim sahasındaki her prosesin ve her ürünün,



optimum enerji ihtiyacı ile tasarlanması gereklidir. Bu konu sadece EMO, MMO bünyesindeki meslek gruplarının değil, gıda, tekstil, madencilik vb. diğer disiplinlerin de önemli bir konusu olmalıdır.

Sektörel ve Mesleki Farkındalık, Eğitim:

Enerji yönetimi ve ISO 50001 hakkında farkındalık yaratmak için daha fazla eğitim ve bilgilendirme programı düzenlenmelidir. Enerji yönetimi ve ISO 50001'in faydaları ve uygulanması hakkında daha fazla bilgi sağlamak, kuruluşları teşvik etmek için önemlidir.

Farklı sektörlerdeki kuruluşlar için sektörel örnek olaylar ve en iyi uygulamaların paylaşılması ve özellikle TMMOB bünyesindeki meslek oda dergi ve bültenlerinde daha fazla makale ve güncel bilgilerin sunulması önemlidir. Sektörel kılavuzlar ve kaynaklar ve üniversitelerden destek olarak oda kitapçıklarının basılması gibi uygulamalar, kuruluşların ISO 50001'e uyum sağlamalarını kolaylaştırabilir.

Benzer şekilde üniversitelerde de ISO 9001 kalite yönetim sisteminin eğitim müfredatına girdiği gibi sadece ISO 50001 EnYS değil, Enerji performansı ölçüm teknikleri, EnPG (performans göstergeleri), EnRÇ (Enerji referans hattı) gibi teknik konulara yönelik ilişkili diğer klavuz standartları da içerecek nitelikli öğretim ve mesleki teknik bilgilerin sunulması.

Unutulmaması gereken bir diğer husus da, ISO 50001 EnYS belgelendirme zorunluluğu gelen işletmelerin (örneğin en az 1000 TEP ve üzeri enerji tüketen işletmeler) oldukça fazla sayıda işçi ve teknik personel çalıştıran ve mühendis sayısının artırmak durumunda kalan işletmeler olduğudur. Bu sektörde yapılacak her türlü teknik eğitim ve farkındalık çalışmaları yanında, bu tür büyük işletmelerdeki EnYS çalışmaları, tüm toplumun enerji israfı konusunda bilinçlenmesinin önünü açacaktır.

Bakanlığın ve resmî kurumların sağlayacağı teşvikler ve destekler:

Bakanlığın enerji verimliliğini teşvik etmek için teşvikler ve destekler sunması önemlidir. Günümüzde VAP başvuru sürelerinin kısa tutulması veya açılmaması dahi pekçok işletmenin mali yükün altına girmek istememesi ISO 50001'e ve mevzuatlara uyumla ilgili süreci olumsuz etkilmektedir.

VAP projelerine benzer şekilde ISO 50001 yönetim sistemine adım atmış kuruluşlara dahi, ISO 50001 ile ilgili denetim, eğitim, danışmanlık hizmetlerine yönelik sağlanacak vergi indirimleri, ISO 50001 belge şarına uyum sürecinin hızlanmasını sağlayacaktır.

Enerji Verimliliği ve Enerji Yönetim Sistemleri konusunda Denetim, ETÜT, Eğitim, Danışmanlık gibi kurumsal faturalar karşılığında hizmetler sunan enerji yöneticisi, mühendisler de benzer şekilde vergi indirimi şeklinde veya proje oluşturup, yapacağı harcamalar konusunda teşvikler sunacak politikaların geliştirilmesi gereklidir.

Denetim ve Belgelendirme çalışmaları:

Denetim ve Sertifikasyon: Enerji yönetimi sistemlerinin etkinliğini sağlamak için mevzuatta da tarif edildiği şekilde akredite kuruluşlarca bağımsız denetimler ve sertifikasyon süreçlerinin sağlanması zorunlu ve önemlidir. Ancak ne yazık ki yeterli piyasa gözetiminin olmadığı gerçeği ve ücretlerin yüksek oluşu ve işletmelerin kolaya kaçma alışkanlıklarından dolayı akreditasyonu dahi olmayan kuruluşlardan belge talep edilmeye başlandığı gözlemlenmektedir. Bu konunun mevzuata aykırı olduğu, yani akreditasyon geçerliliği olmayan belgelerin tespiti halinde cezai şartların oluşacağı ve/veya VAP projelerindeki teşviklerin



durabileceği gibi uyarıların sektöröl dernekler ve meslek gruplarında duyurulmalı, usulsüzlüklerin önüne geçilmesiyle, kuruluşların gerçek anlamda bir denetim mekanizmasıyla başarılı bir ISO 50001 yönetim sistemi kurması. Bu süreçlerin şeffaf, erişilebilir ve güvenilir olması, ISO 50001 sertifikasyonunu değerli hale getirir.

İşbirliği ve Paydaş Katılımı:

Enerji yönetimi politikalarının başarılı bir şekilde uygulanması için işbirliği ve paydaş katılımı önemlidir. Devlet, özel sektör, sivil toplum kuruluşları ve akademik kuruluşlar arasındaki işbirliğini teşvik etmek, enerji verimliliği konusunda ortak hedeflere ulaşmayı sağlar.

Türkiye, enerji verimliliği ve sürdürülebilir enerji politikaları alanında önemli adımlar atmış olsa da, ISO 50001 ve enerji yönetimi sistemleri konusunda daha fazla ilerleme kaydetmek için çalışmalıdır. Bu öneriler, Türkiye'nin enerji yönetimi alanında daha etkin ve verimli bir yaklaşım benimsemesine yardımcı olabilir.

Kaynakça :

- 1) Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı web sayfası ve ilgili yönetmeliklerdeki ifadelerden referans alınmıştır
- 2) resim <https://enerji.gov.tr/evced-enerji-verimlilik-egitim-uzantili> Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı web sayfasından alıntıdır.



ISO 50001 ENERJİ YÖNETİM SİSTEMİNDE ÖNEMLİ ENERJİ KULLANICILARININ BELİRLENMESİ

Abdulkadir Özdebak

GKL Teknik Demir Çelik Enerji Ürünleri İç ve Dış Tic. Ltd. Şti.

aozdebak49@gmail.com

ÖZET:

Önemli enerji kullanımlarının belirlenmesi (ÖEK'ler) ISO 50001 standardının bir gerekliliğidir ve önemli enerji kullanıcıları ISO 50001 Enerji Yönetim Sisteminde en önemli süreçlerinden biridir. ÖEK1 büyük enerji tüketicileridir. Önemli enerji kullanıcıları zaman içinde değişebilir bu nedenle önemli enerji kullanıcılarını gerektiği gibi gözden geçirmek ve güncellemek için sistematik bir yaklaşım geliştirilmelidir. Önemli enerji kullanıcıları belirlendikten sonra, ilgili değişkenleri tanımlamanız ve bunların ÖEK'in enerji performansını nasıl etkilediğini anlamanız gerekir. Ayrıca önemli enerji kullanıcılarının mevcut enerji performansını belirlemeli ve önemli enerji kullanıcılarının enerji performansını sürekli olarak değerlendirmek için ölçüm ve izleme uygulanmalıdır. Kuruluş; ÖEK enerji performansını belirlemek için uygun bir metrik (Yüzde olabilir) olarak belirlenir. ISO 50006'da ÖEK belirlemek için Çıt Diyagramı çizilmesi tavsiye etmektedir. Amaç ve hedefler belirlenirken ÖEK'ler göz önünde bulundurulmalı ve odaklanmalıdır.

1.Amaç: Enerji performansının değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi, enerjinin nasıl, ne zaman ve nerede kullanıldığı hakkında iyi bilgi gerektirir. Enerjinin Gözden Geçirilmesinde gerçekleştirilen analizin amacı, kuruluşunuzun enerji kaynaklarına ilişkin temel bir genel bakış sağlamaktır. Bu adımda, bu enerjinin kuruluşunuzun operasyonlarında nerede ve nasıl kullanıldığını belirleyeceksiniz. Enerji kullanan sistem, ekipman ve süreçleri belirleme ve bunların enerji tüketimi üzerindeki etkilerini belirleme süreci, enerji ekibinizin sınırlı kaynaklarını enerji tüketimi üzerinde en önemli etkiye sahip alanlara odaklamasını sağlayacaktır. Kuruluşun faaliyetlerindeki sistemlerin, ekipmanların ve süreçlerin basit bir enerji dengesi, önemli enerji kullanan sistemleri belirlemek için iyi bir başlangıç noktasıdır.

Önemli enerji kullanımlarının belirlenmesi ISO 50001 standardının bir gerekliliğidir. Temel enerji yönetiminin Seviye.1'de uygulanmasında önemli enerji kullanımları büyük enerji tüketicileriydi. ISO 50001'de Seviye.2 ise önemli bir enerji kullanımı, büyük tüketiciler veya iyileştirme için önemli fırsatlara sahip bir enerji kullanımı veya her ikisinin bir kombinasyonu olabilir. Seviye.1'de bir enerji dengesi oluşturup ve bunu tüm enerji tüketicilerini hesaba kattığınızdan emin olmak için Seviye 2'de kullanılması gerekir. Enerji kullanımlarının ISO 50001 standardının gerektirdiği şekilde Önemli enerji kullanımlarının belirlenmesine daha elverişli bir şekilde düzenlenmesine yardımcı olmak için ek veriler kullanılmaktadır. Önemli enerji kullanımları zaman içinde değişebilir ve Önemli enerji kullanımlarını gerektiği gibi gözden geçirmek ve güncellemek için sistematik bir yaklaşım geliştirilmelidir.

Önemli enerji kullanımları belirlendikten sonra, ilgili değişkenleri tanımlamanız ve bunların Önemli enerji kullanıcılarının enerji performansını nasıl etkilediğini anlamanız gerekir. Ayrıca Önemli enerji kullanıcılarının mevcut enerji performansını belirlemeli ve Önemli enerji kullanıcılarının enerji performansını sürekli olarak değerlendirmek için ölçüm ve izleme yapılmalıdır. Kuruluşunuz ÖEK enerji performansını belirlemek için uygun bir metrik veri (Yüzde olabilir) belirler; bunun her bir ÖEK için KPI (Kritik İşletme Parametresi) belirleyerek ölçmelidir.

2-ÖEK Belirleme Adımları;

Adım.1: Ana ekipman ve sistemlerin bir listesini hazırlanması.

Önemli enerji kullanımlarınızı belirlemekle ilgili ilk görev, tüm önemli ekipman ve sistemlerinizin basit bir listesini hazırlamaktır. Bunu yapmak için, Enerji tüketim tablolarını gözden geçirmek gerekir. ÖEK belirlemek için tüm Satın Alınan enerji kaynaklarının tüketim tablolarına ayrıca kuruluşunuz bulunan tüm önemli ekipman ve sistemlerin belirli bir listesini ihtiyaç vardır.

Adım.2: Bir enerji dengesi geliştirin.

Ekipman listesi hazırlandıktan bir sonraki adım, her bir büyük ekipman yıllık enerji tüketimini bilmektir. Hangi sistemlerin, ekipmanların, süreçlerin ve operasyonların ne miktarda enerji kullandığını belirleyerek, kuruluşun enerji performansını iyileştirmek için en büyük fırsatların nerede olduğunu daha iyi anlaşılmasına yardımcı olacaktır.

1 ÖEK=Önemli Enerji Kullanıcısı

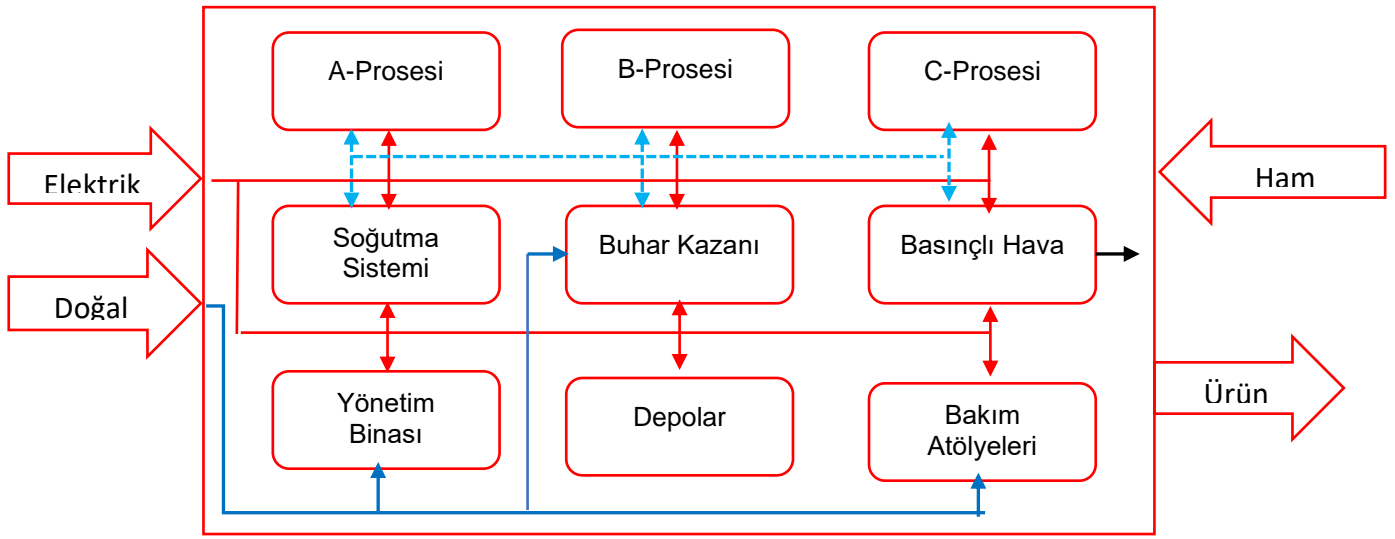
Bunu yapmanın en doğru yolu, tek tek ekipmanların tükettiği enerjileri ölçmektir, A firmasında Elektrik ve Doğal Gaz kullanılmaktadır. İkincil Enerji olarak da Buhar ve basınçlı hava kullanılmakta olup ve Su Tüketimleri izlenmekte, manuel ve otomatik olarak ölçülerek takip edilmektedir.

Sayaçlardan alınan verilerin yanında sayaç olmayanlarda ölçüm yapılarak alınmalıdır.

Ana sayaçları haricinde kuruluş içerisinde sayaç yok ise; Başlamanıza yardımcı olacak basit bir yöntem uygulayarak tesiste çalışan ekipman ve sistemler için yük tahminlerine dayalı basit bir enerji dengesi gerçekleştirilmelidir. Enerji dengesi giren enerji miktarı ile kullanılan enerji miktarının dengesidir. Bunun SANKEY Diyagramları kullanılabilir. Ekipmanın enerji tüketimi hakkında iyi varsayımlarda bulunarak tüketim seviyesini $\pm 10\%$ 'u oranında tahmin edilebilir.

2-Önemli Enerji Kullanıcılarının (ÖEK) Belirlenmesi

2.1. Çıt Diyagramı



Şekil.1. Çıt Diyagramı2

Bir enerji performansı göstergesi sınırı tanımlandıktan sonra, kuruluş sınır boyutları içerisinde tüketilen enerjiyi tanımlamalıdır. Kuruluş, Enerji Performansı Göstergeleri oluşturmak ve gereken enerji bilgisini belirlemek için Şekil 1'deki gibi bir şema kullanılabilir. Bu çıt diyagramları veya enerji haritaları görsel olarak enerji performansı göstergesi sınırlarının içinde ve arasında enerji tüketimini gösterir. Enerji analizi ve enerji performansı göstergelerin belirlenmesi için önemli olan ölçüm noktaları ve üretim gibi ek bilgileri de içermelidir. Kuruluş, enerji tüketimini, yakıt stok seviyelerindeki değişiklikleri ve depolanabilen enerji kaynakları miktarını ölçmelidir.

Önemli enerji kullanıcılar için enerji performans göstergeleri ve enerji referans çizgileri, enerji tüketimlerini ölçmek için iyi tanımlanmış sınırlar gerektirir. Her bir önemli enerji kullanıcılar için önemli olan önemli enerji kullanıcılar sınırları içerisinde kesişen enerji tüketimini ölçmek ve uygun ölçüm metodu ile değişkenler oluşan her bir veriyi doğrulamaktır.

- Ölçümden alınan tüketimlere dayalı olarak Önemli Enerji Kullanıcıları tanımlamalı,
- Önemli miktarda enerji tüketimi ile sonuçlanan ve/veya enerji performansı iyileştirmesi için kayda değer potansiyel sunan enerji belirleme de kullanılmalıdır.

2.2.Önemli Enerji Kullanımı talimatı;

1. İlk adım, Enerji Yönetim Sistemi kapsamındaki her enerji kaynağı için bir enerji balansı geliştirmektir.

2 ISO 50006 EnPG ve EnRÇ Belirleme Standardı



- Her kaynak (elektrik, yakıt, vb.) için, bilinen tüm kullanımları listele,
- Listelenen her kullanım için, enerji tüketimini ölçün ya da tahmin edin,
- Her kaynak için enerji kullanım balansını, teknik ve ekonomik olarak mümkün olduğu kadar, 100%'e yakın bir değere getirmeye çalışın,
- Not: Tam doğru olmanın kritik olmadığını unutmayın. Amaç, enerjinin en çok nerede harcandığını bulmaktır.

2. Kullanım listesinden, en önemli olduğu düşündüklerinizi seçin.

3ISO 50003:2021

EnYS Tetkik Zamanı (Ek-A)

A.3 Enerji türlerinin belirlenmesi

Belgelendirme kuruluşu müşteriden o müşteri kuruluşun toplam enerji harcamasının 80%'ine denk gelen enerji türleri sayısının belirlenmesini istemelidir. Bu enerji türleri, enerji incelemesinde tespit edilmiş türlerdir.

4Endüstride ve birçok işletmede genellikle 80/20 kuralı geçerlidir (bkz. Adım 2.4.1); yani enerji tüketiminin 80%'i ekipman veya süreçlerin 20%'sinden sorumlu olacaktır. Tipik olarak sadece birkaç enerji sistemi bir tesisteki enerjinin çoğunu tüketir. Bunlara odaklanın ve ÖEK'lerini belirlemek için belirlenen kriterler uygulanır. Enerji yönetimi sürekli bir iyileştirme sürecidir.

5PARETO analizi: PARETO analizi, odaklanılan alanların belirlenmesine yardımcı olabilecek bir sıralama biçimidir. 80/20 kuralı olarak da bilinen bu kural, sonuçların 80%'inin, nedenlerin 20%'sinden kaynaklandığını söylüyor. Enerji tüketimine ilişkin olarak, sağlanan enerjinin 80%'i genellikle ekipmanların, süreçlerin veya sistemlerin 20%'siyle ilişkilendirilecektir. Bir tesis veya kuruluşta gerçek oran 80/20 oranından önemli ölçüde farklılık gösterse de enerji tüketiminin büyük bir kısmı genellikle az sayıda ekipmana, prosese veya sisteme atfedilebilir. PARETO Analizi, kaynakları odaklamaya hizmet edebileceği için projeleri değerlendirirken veya önemli enerji kullanımlarını belirlerken faydalıdır.

3. Seçilen ÖEK'ler, Enerji Yönetim Sisteminin faaliyetlerinin çoğunun odak noktası olacaktır.

Not: ÖEK olmayan kullanımlar yok sayılmamalıdır. ÖEK olmayan bir alanda iyi bir tasarruf fırsatı varsa, bunu uygulayın.

3-Tanımlanan Enerji kaynakları;

1. Satın alınan Elektrik
2. Satın alınan Doğal gaz,

4-Tanımlanan tüketiciler;

- A-Prosesi
- B-Prosesi
- C-Prosesi

3 ISO 50003 24.09.2021 TÜRKAK

4 <http://www1.eere.energy.gov>

5 UNIDO EGUIDE



- D-Prosesi
- Bakım Atölyeleri
- Ambarlar
- İklimlendirme Sistemi
- Soğutma Sistemi
- Aydınlatmalar
- İdari Bina
- Kompresör Odası
- Kazan Dairesi

5-Tanımlanan Enerji Kaynaklarının Yıllık Tüketimleri;

1. Elektrik Tüketimi=21.350.000 kWh/Yıl
2. Doğal Gaz Tüketimi=110.000 Sm³/Yıl
3. Elektrik Tüketimi=1.836,1 TEP/Yıl
4. Doğal Gaz Tüketimi=90,75 TEP/Yıl

Toplam TEP olarak enerji tüketimi=1.926,85 TEP/Yıl

6-Enerjilerin tanımlanan tüketicilere dağılımı;

Sıra No;	Tanımlanan tüketiciler	Elektrik Tüketimi (kWh/Yıl)	Doğal Gaz Tüketimi (Sm ³ /Yıl)
1	A-Prosesi	7.115.000	11.250
2	B-Prosesi	2.765.125	9.950
3	C-Prosesi	1.655.890	0
4	D-Prosesi	3.400.756	0
5	Bakım Atölyeleri	230.000	0
6	Ambarlar	124.900	0
7	İklimlendirme Sistemi	980.800	0
8	Soğutma Sistemi	650.300	0
9	Aydınlatmalar	129.900	0
10	İdari Bina	55.500	12.560
11	Kompresör Odası	4.230.000	0
12	Kazan Dairesi	11.829	76.240
Toplam Tüketim(kWh/Sm³)		21.350.000	110.000

Tablo.1. Enerji tüketimlerinin dağılım verileri

Önemli Enerji Kullanıcıları	Elektrik Tüketimi(kWh)	Elektrik (TEP)	Doğal Gaz Tüketimi (Sm ³)	Doğal Gaz (TEP)	Toplam (TEP)
A-Prosesi	7.115.000	611,89	11.250	9,28	621,17
B-Prosesi	2.765.125	237,80	9.950	8,21	246,01
C-Prosesi	1.655.890	142,41	0	0,00	142,41
D-Prosesi	3.400.756	292,47	0	0,00	292,47
Bakım Atölyeleri	230.000	19,78	0	0,00	19,78
Ambarlar	124.900	10,74	0	0,00	10,74
İklimlendirme Sistemi	980.800	84,35	0	0,00	84,35
Soğutma Sistemi	650.300	55,93	0	0,00	55,93
Aydınlatmalar	129.900	11,17	0	0,00	11,17
İdari Bina	55.500	4,77	12.560	10,36	15,14
Kompresör Odası	4.230.000	363,78	0	0,00	363,78

Kazan Dairesi	11.829	1,02	76.240	62,90	63,92
Toplam	21.350.000	1836,10	110.000	90,75	1926,85

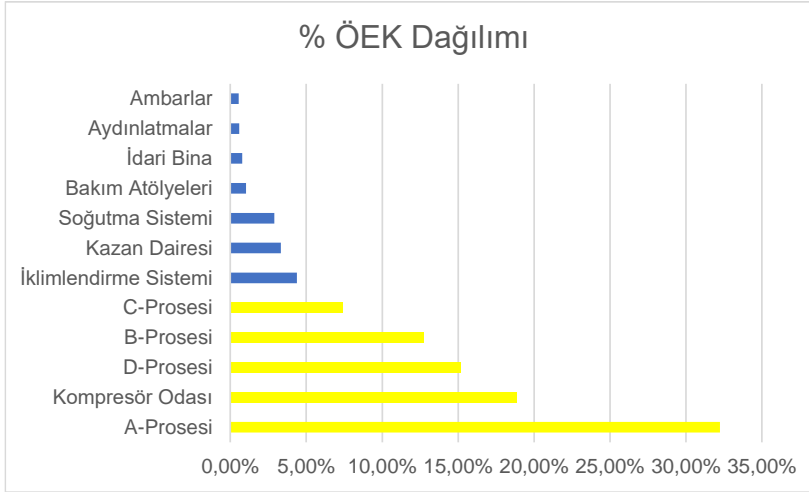
Tablo.2. Önemli Enerji Kullanıcıların toplam enerji tüketim verileri

Önemli Enerji Kullanıcıları	Toplam TEP	% ÖEK Dağılımı
A-Prosesi	621,17	32,24%
Kompresör Odası	363,78	18,88%
D-Prosesi	292,47	15,18%
B-Prosesi	246,01	12,77%
C-Prosesi	142,41	7,39%
İklimlendirme Sistemi	84,35	4,38%
Kazan Dairesi	63,92	3,32%
Soğutma Sistemi	55,93	2,90%
Bakım Atölyeleri	19,78	1,03%
İdari Bina	15,14	0,79%
Aydınlatmalar	11,17	0,58%
Ambarlar	10,74	0,56%
Toplam	1926,85	100,00%

Tablo.3. Önemli Enerji Kullanıcı belirleme tablosu

Firmada yapılan analiz sonrası 5 adet Önemli Enerji Kullanıcısı olduğu görülmüştür. Bunların yüzde olarak toplamı 86,45 %'dir. ÖEK'ler ise;

1. A-Prosesi
2. Kompresör Odası
3. D-Prosesi
4. B-Prosesi
5. C-Prosesidir.



Grafik.1.Önemli Enerji Kullanıcıları dağılım grafiği

7-Elektrik Enerjisi Önemli Enerji Kullanıcıları

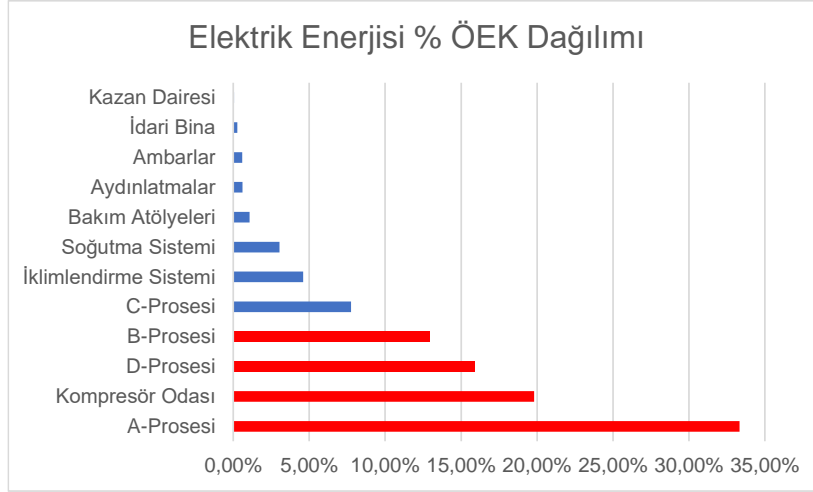
Önemli Enerji Kullanıcıları	Elektrik (TEP)	%ÖEK Dağılım
A-Prosesi	611,89	33,33%
Kompresör Odası	363,78	19,81%
D-Prosesi	292,47	15,93%
B-Prosesi	237,80	12,95%
C-Prosesi	142,41	7,76%

İklimlendirme Sistemi	84,35	4,59%
Soğutma Sistemi	55,93	3,05%
Bakım Atölyeleri	19,78	1,08%
Aydınlatmalar	11,17	0,61%
Ambarlar	10,74	0,59%
İdari Bina	4,77	0,26%
Kazan Dairesi	1,02	0,06%
Toplam	1836,10	100,00%

Tablo.4. Elektrik Enerjisi Önemli Enerji Kullanıcıları

Kuruluştaki elektrik enerji kullanımında tespit edilen dört adet Önemli Enerji Kullanıcısı vardır. Yüzde olarak toplamı 82,02 %'dir. ÖEK'ler ise;

1. A-Prosesi
2. Kompresör Odası
3. D-Prosesi
4. B-Prosesidir.



Grafik.2.Elektrik enerjisi Önemli Enerji Kullanıcıları dağılım grafiği

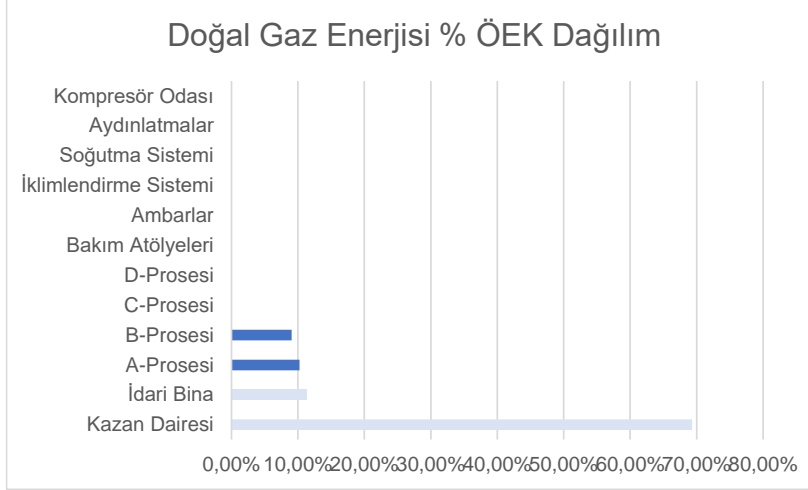
8-Doğal Gaz Enerjisi Önemli Enerji Kullanıcıları

Önemli Enerji Kullanıcıları	Doğal Gaz-TEP	%ÖEK Dağılım
Kazan Dairesi	62,90	69,31%
İdari Bina	10,36	11,42%
A-Prosesi	9,28	10,23%
B-Prosesi	8,21	9,05%
C-Prosesi	0,00	0,00%
D-Prosesi	0,00	0,00%
Bakım Atölyeleri	0,00	0,00%
Ambarlar	0,00	0,00%
İklimlendirme Sistemi	0,00	0,00%
Soğutma Sistemi	0,00	0,00%
Aydınlatmalar	0,00	0,00%
Kompresör Odası	0,00	0,00%
Toplam	90,75	100,00%

Tablo.5. Doğal gaz Enerjisi Önemli Enerji Kullanıcıları

Kuruluşta doğal gaz enerji kullanımında tespit edilen iki adet Önemli Enerji Kullanıcısı vardır. Yüzde olarak toplamı 80,73 %'dir. ÖEK'ler ise;

1. Kazan Dairesi
2. İdari Bina



Grafik.3.Doğal gaz enerjisi Önemli Enerji Kullanıcıları dağılım grafiği

9-Her Bir Önemli Enerji Kullanıcısı Nasıl Ölçülür

9-1.Süzme sayacınız var mı?

- Veri tabanına otomatik kayıt,
- Manuel okuma/kayıt,
- Sayaçların kalibrasyonlu ve ölçüm sonuçları doğrulanmalıdır,
- Veri toplama sistemi çalışıyor ve istikrarlı olmalı,

9-2. Lokal ve Sabit Sayaçlarınız var mı?

- Manuel okunabilir, hesaplanabilir veya tahmin edilebilir,
- Veri okumaya azami dikkat gösterilmeli,

9-3.Motor Listesi, Aydınlatma listesi, ekipman listelerinin belirlenmesidir.

9-4. SANKEY Diyagramları ile ölçülür.

10-Tipik Engeller

- Yüksek enerji tüketicilerine ve sistemlerine odaklanmama
- ÖEK hesabında çapraz görevli/işlevli ekip yer almaması
- Aşırı sayıda ÖEK belirleme
- Yetersiz süzme sayaçlar
- Yetersiz veri analizi
- Kurumun gelecekteki enerji kullanımı tahmininde stratejik bakış açısı olmaması
- Sistem veya veri yetersizliklerine odaklanma

11-Sonuç:

Önemli enerji tüketimini hesaba katan ve / veya enerji performansının iyileştirilmesi için önemli bir potansiyel sunan enerji kullanımıdır.



tmmob
makina mühendisleri odası

Enerji performansını etkin bir şekilde ölçmek için bir kuruluş Enerji Performans Göstergeleri ve Enerji Referans Çizgilerini belirler. Enerji Performans Göstergeleri kuruluşların enerji performansını ölçmek için kullanılır. Enerji Referans Çizgileri de zaman içerisinde Enerji Performans Gösterge değerler ile karşılaştırarak ve enerji performansındaki değişiklikleri ölçmek için kullanılan nicel referanslardır.



AKILLI ŞEBEKELERDE ENERJİ SİSTEMLERİNİN GELECEĞİ The Future of Energy Systems in Smart Grids

Dr. Barbaros Batur¹, , Muammer Akgün², Dr. M. Cem Çelik³

1 Yıldız Teknik Üniversitesi
2 MMO İstanbul Şube Kazan ve Basıncılı Kaplar Komisyonu
3 Marmara Üniversitesi

Anahtar kelimeler: Enerji depolama, Esnek sistemler, Enerji verimliliği

ÖZET

Geçmiş yüzyılda elektrik üretimi büyük güç santralleri, nükleer ve hidroelektrik santraller gibi alanlarda gerçekleştiriliyordu. Günümüzde ise yenilenebilir enerji kaynaklarının artan kullanımıyla birlikte, rüzgar ve güneş enerjisine dayalı değişken elektrik üretimi gibi daha küçük ölçekli sistemler öne çıkıyor. Bu dönüşüm sürecinde elektrikli araçların sayısındaki artış ve enerji tüketim yapısında meydana gelen değişiklikler, tüketim tarafında önemli etkiler yaratıyor ve şebeke yükünü artırıyor. Bu nedenle, gelecekteki akıllı şebekelerin bu değişimlere uygun olarak planlanması ve geliştirilmesi önem arz etmektedir.

Yükselen yenilenebilir enerji entegrasyonu, ileri veri analitiği, yapay zeka uygulamaları, enerji depolama teknolojilerinin gelişimi, iletişim altyapısının ilerlemesi, proaktif şebeke yönetimi, mikro şebekelerde enerji paylaşımı, elektrikli araçların şebeke entegrasyonu, Nesnelerin İnterneti (IoT) entegrasyonu, güvenlik ve veri gizliliği, enerji iletişimi ile işbirliği konularının araştırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Gelecekteki akıllı şebekeler, enerji sektöründe önemli bir değişimi temsil edecek ve enerji yönetimi alanında büyük etkiler yaratacaktır. Yenilenebilir enerji entegrasyonu, veri analitiği ve yapay zeka uygulamaları, enerji depolama teknolojileri ve iletişim altyapısının gelişimi gibi faktörler, akıllı şebekelerin daha etkili, güvenli ve sürdürülebilir bir enerji geleceği sunmasını destekleyecektir. Bu sayede, enerji tüketimini en iyi seviyeye getirme, enerji kaynaklarını daha etkin kullanma ve karbon salınımını azaltma imkanı ortaya çıkacaktır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Şebekeler, Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu, Enerji Yönetimi

ABSTRACT

In the past century, electricity generation was primarily carried out in large power plants such as nuclear and hydroelectric power stations. However, today, with the increasing use of renewable energy sources, smaller-scale systems based on wind and solar energy are gaining prominence. The rise in the number of electric vehicles and changes in energy consumption patterns in this transformation process are creating significant impacts on the consumption side and increasing the grid load. Therefore, it is crucial to plan and develop future smart grids in line with these changes.

The emerging integration of renewable energy, advanced data analytics, applications of artificial intelligence, the development of energy storage technologies, advancements in communication infrastructure, proactive grid management, energy sharing in microgrids, grid integration of electric vehicles, integration of the Internet of Things (IoT), security, and data privacy necessitate further research in energy communication and collaboration.

Future smart grids will represent a significant shift in the energy sector and will have substantial effects on energy management. Factors like the integration of renewable energy, data analytics, artificial intelligence applications, energy storage technologies, and the advancement of communication infrastructure will support smart grids in offering a more efficient, secure, and sustainable energy future. This will create opportunities to optimize energy consumption, utilize energy resources more effectively, and reduce carbon emissions.

Key Words: Smart Grids, Renewable Energy Integration, Energy Management



1. GİRİŞ

Gelecekte akıllı şebekeler, enerji sektöründe önemli bir dönüşümü temsil edecek ve enerji yönetimi alanında büyük bir etki yaratacaktır. Yenilenebilir enerji entegrasyonu, veri analitiği ve yapay zeka uygulamaları, enerji depolama teknolojileri ve iletişim altyapısının gelişimi gibi faktörler, akıllı şebekelerin daha verimli, güvenli ve sürdürülebilir bir enerji geleceği sağlamasını destekleyecektir. Bu sayede, enerji tüketimini optimize etmek, enerji kaynaklarını daha etkin kullanmak ve karbon salınımını azaltmak mümkün olacaktır.

Artan yenilenebilir enerji entegrasyonu, geleneksel enerji üretim yöntemlerinin yerini alarak çevresel etkileri minimize edecek ve enerji tüketimini daha sürdürülebilir hale getirecektir. Bununla birlikte, ileri veri analitiği ve yapay zeka uygulamaları, enerji üretim ve tüketimini daha akıllı bir şekilde yönetmeyi sağlayarak kaynakları daha etkin kullanmamıza olanak sağlayacaktır.

Enerji depolama teknolojilerinin gelişimi, enerjinin dalgalı üretimini dengelemek ve ihtiyaç olduğunda kullanabilmek için kritik bir rol oynayacaktır. Bu sayede, güneş enerjisi veya rüzgar enerjisi gibi değişken kaynaklar daha etkili bir şekilde kullanılabilir hale gelecektir.

İletişim ve internet altyapısının gelişimi, akıllı şebekelerin veri iletişimini daha hızlı ve güvenli hale getirerek enerji yönetimini optimize etmeye yardımcı olacaktır. Ayrıca, proaktif şebekelerin yönetimi ve mikro şebekelerde enerji paylaşımı gibi konular da geleceğin enerji sistemlerinin temel bileşenleri olacaktır.

Elektrikli araçların şebeke entegrasyonu ve Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT) entegrasyonu, enerji tüketiminin daha akıllıca yönetilmesini sağlayacak ve bu alanda yeni fırsatlar yaratacaktır. Güvenlik ve veri gizliliği de bu teknolojilerin geliştirilmesi sürecinde önemli bir rol oynayacaktır.

Akıllı şebekelerin geliştirilmesi ve uygulanması, enerji sektöründe çevresel etkileri azaltmak ve daha sürdürülebilir bir enerji geleceği oluşturmak için kritik bir adımdır. Bu teknolojilerin başarılı bir şekilde entegre edilmesi, enerji tüketimini optimize etmek, enerji kaynaklarını daha etkin kullanmak ve karbon salınımını azaltmak için önemlidir.

2. ENERJİ SİSTEMLERİNİN TARİHİ VE GÜNÜMÜZE ETKİSİ [1,2]

Termik Santraller; 1970'lerde 1.300 MW'lık ünite güç değerlerine ulaşıldı. 1972'de Alman üretici STEAG için 183 MW'lık bir güç santrali olan dünyanın ilk entegre kömür gazlaştırılmalı kombine çevrim enerji santralini işletmeye başladı. Bununla birlikte, çevre endişelerinin artması ve ABD-Nixon yönetiminin 1970'lerde Temiz Hava Kanunu'nu kabul etmesi, kükürt dioksit emisyonlarını azaltmak için siklonik filtreler gibi teknik çözümleri de teşvik etti. 1979'da Washington DC.'de Georgetown Üniversitesi kampüsünde inşa edilen akışkan yataklı yakma tesisi tamamlandı.

Bu arada, 1980 'lerin başında, azotoksit emisyonlarını azaltmak için katalitik indirgeme sistemlerinin tanıtılması ile emisyon kontrol teknolojilerinin daha da geliştirilmesi mümkün hale geldi. Kömür enerjisinin tarihindeki en son büyük kilometre taşlarından biri, 2014 yılında Kanada'nın Saskatchewan eyaletindeki Boundary Dam 'da karbon tutma ve depolama teknolojisi ile donatılmış ilk büyük kapasiteli kömürle çalışan enerji santralini tamamlanmasıdır.

Ardından gelen sosyal bilinç, politika yapıcıların öncülük ettiği bir çevre hareketini tetikledi. Küresel çapta benimsenme sonucu oluşan iklim değişikliği endişeleri, dünyanın dört bir yanında enerji dönüşümlerini hızlandırdı; bu da kömürden uzaklaşım düşük karbonlu veya sıfır karbonlu kaynaklara doğru bir kayma anlamına geliyordu. Dekarbonizasyon hareketi, enerji şirketi hissedarları ve müşterileri tarafından desteklendi ve dünyanın en büyük kömür üreticilerinden bazıları, yüzyıl ortasına kadar net sıfır hedeflerini açıkladı.

Gaz türbinlerinin tarihine bakıldığında, 1957 yılı itibarıyla, gaz türbin ünitelerinin kapasitelerindeki artış, gaz türbinleri ile ilk ısı geri kazanım buhar jeneratörünün (HRSG) kurulmasına yol açtı. 1965 yılına gelindiğinde, Birleşik Çevrimli Gaz Türbini Teknolojisi (CCGT) enerji santrali hizmete girdi ve 1968 yılında ilk CCGT bir HRSG ile donatıldı. Öte yandan, 1960'ların sonlarına doğru, gaz türbin tedarikçileri önceden tasarlanmış veya standart CCGT santralleri geliştirmeye başladı. Örneğin, GE, STAG (buhar ve gaz) sistemini, Westinghouse, PACE (kombine verimlilikte güç) sistemini ve Siemens, GUD (gaz ve buhar) sistemini geliştirdi.

Gelişmiş gaz türbin teknolojisi ayrıca CCGT verimliliği ve gaz türbini güç çıkışında yeni dünya rekorlarına yol açtı. Özellikle, GE Power, 2018 yılı Mart ayında GE 7HA gaz türbini ve Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.'un buhar türbini ve jeneratör teknolojisi ile çalışan Chubu Electric Nishi-Nagoya enerji santrali Blok-1'in, %63.08 brüt verim elde ederek Guinness Dünya Rekorları tarafından dünyanın "en verimli kombine çevrim enerji santrali" olarak tanındığını duyurdu. Ağustos 2022'de, Siemens Energy SGT6-9000HL gaz türbini ile çalışan Duke Energy 'nin Lincoln Yanma



Türbin İstasyonu, 410.9 MW güce sahip olarak resmi Guinness Dünya Rekorları unvanını "en güçlü basit çevrimli gaz enerji santrali" olarak aldı.

Nükleer santraller: Nükleer enerjiden elektrik üreten ilk reaktör, 20 Aralık 1951'de Idaho'da bulunan Deneysel Çoğaltıcı Reaktörü I idi. 1957'de, ilk ticari ABD nükleer enerji santrali olan 60 MW kapasiteli Shippingport Nükleer santrali, Pennsylvania'daki enerji şebekesine senkronize edildi. Ancak ABD ve Sovyetler Birliği nükleer santraller inşa eden tek ülkeler değildi. İngiltere, Almanya, Japonya, Fransa ve birkaç diğer ülke de bu trende katıldı. Sanayi 1960'ların ve 1970'lerin hızla büyümesini yaşadı. 1973 yılında sadece Amerika Birleşik Devletleri'nde 41 yeni ünite sipariş edildi. Ancak daha yavaş elektrik talebi artışı, inşaat gecikmeleri, maliyet aşımı ve karmaşık düzenleyici gereksinimler, 1970'lerin ortasında bu talebin sona ermesine neden oldu. Planlanan projelerin neredeyse yarısı iptal edildi. Bununla birlikte, 1991 yılına gelindiğinde, ABD'nin dünyada 112 üniteyle diğer ülkelerden iki kat daha fazla işletilen ticari reaktörü vardı.

Nükleer enerjinin tarihini üç büyük kaza lekelemiştir. İlk olarak, 28 Mart 1979'da Three Mile Island Ünitesi 2'nin kısmi erimesi yaşandı. Ekipman arızalarının, tasarım kaynaklı sorunların ve işçi hatalarının bir ünitesinde erimelere yol açtı. İkinci büyük kaza, 26 Nisan 1986'da gerçekleşti. Bu olay, Ukrayna'daki Çernobil nükleer enerji istasyonundaki 4. üniteye bir reaktör sistemleri testi sırasında aniden artan bir enerji dalgasıyla tetiklendi. Kazada ve ardından çıkan yangın, çevreye büyük miktarda radyoaktif madde salınmasına neden oldu. En son büyük kaza, 11 Mart 2011'de Japonya kıyılarının açıklarında meydana gelen 9.0 büyüklüğündeki depremi takiben yaşandı. Depremin ardından Fukushima Daiichi istasyonu tüm dış kaynağını kaybetti. Sonuç olarak üç reaktör aşırı ısındı - çekirdeklerinin bir kısmının erimesine neden oldu, ardından hidrojen patlamaları radyoaktif kirliliği bölgeye yaydı.

Kazaların sonuçları, Belçika, Almanya, İsviçre ve İspanya gibi bazı ülkelerde nükleer enerjiye olan bağımlılığı azaltma veya aşamalı olarak sonlandırma kararlarına etki etmiştir. Bununla birlikte, Çin, Rusya, Hindistan, Birleşik Arap Emirlikleri, ABD ve diğer bazı ülkeler, modern güç santrali teknolojisinin birçok unsurunu içeren yeni üniteler inşa etmeye devam etmektedir.

Rüzgar Türbini: 1970'lerin petrol krizi tarafından canlandırılan rüzgar enerjisi araştırma ve geliştirmeyi teşvik etti. ABD'deki rüzgar enerjisi, Başkan Jimmy Carter'ın 1978'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Alımını Zorunlu Kılan Kamu Hizmeti Düzenleme Politikaları Yasasını imzalamasıyla politik bir destek aldı. 1980'lerde, ilk hizmet ölçekli rüzgar çiftlikleri California'da ortaya çıkmaya başladı. İlk deniz üstü rüzgar çiftliği, 1991'de Danimarka'da kuruldu. Wind Europe 'e göre, Avrupa'da 2021'in sonunda 236 GW kurulu rüzgar enerjisi kapasitesi bulunmaktaydı; bu, beş yıl öncesine göre 12.6 GW kapasitenin önemli bir artışıdır. 2016'nın sonlarına doğru, ABD'deki ilk deniz üstü rüzgar çiftliği olan beş türbinli, 30 MW'lık bir proje, Rhode Island'ın Block Adası sularında faaliyete geçti. Ancak 2022'ye gelindiğinde, ABD elektrik şebekesine sadece bir ek deniz üstü rüzgar projesi eklenmişti; bu, 12 MW üretim kapasitesine sahip iki türbinli Coastal Virginia Deniz Üstü Rüzgar pilot projesiydi. Bununla birlikte, karada rüzgar tesisleri çok daha iyi performans gösterdi. 2022 ortalarına gelindiğinde, Amerikan Temiz Enerji adlı bir yenilenebilir enerji savunucusuna göre, ABD'de 139 GW' dan fazla karadaki rüzgar enerjisi kapasitesi şebekeye bağlıydı.

Güneş enerjisi, 1982'de ARCO Solar tarafından geliştirilen ilk PV megavat ölçekli enerji santrali, California'nın Hesperia şehrinde devreye girdi. Aynı yıl, DOE, 10 MW'lık bir merkezi alıcı gösteri projesi olan Solar One 'ı işletmeye başladı, bu da kule teknolojisinin uygulanabilirliğini kanıtlayan ilk projeydi. Daha sonra, 1992'de Güney Florida Üniversitesi'ndeki araştırmacılar, %15.9 verimli ince film PV hücrelerini geliştirdi ve %15 verimlilik barajını aşan ilk hücre oldu. 2000'lerin ortalarına gelindiğinde, konutlara yönelik güneş enerjisi sistemleri yapı marketlerinde satılmaya başlandı. Solar Energy Industries Association' a göre, 2022 Mart sonunda ABD'de 126 GW 'den fazla güneş enerjisi kapasitesi kurulmuştu ve ABD Enerji Bilgi İdaresi, 2021 yılında ABD elektrik üretiminin neredeyse %4 'ünün güneş enerjisinden geldiğini bildirdi.

Sanayide Nesnelere İnternetinin Yükselişi; Kesin değişim, 2012 civarında "endüstriyel nesnelere interneti" (IIoT) kavramının tanıtılmasıyla geldi - ki bu terimi GE 'nin uydurduğunu iddia ediyor - bu terim, makineler, gelişmiş analitikler ve onları kullanan insanlar arasındaki bağlantıyı tanımlıyordu. GE' ye göre, IIoT, "iletişim teknolojileriyle birbirine bağlı endüstriyel cihazlar ağıdır; bu, hiç olmadığı kadar değerli yeni bilgileri izleyebilen, toplayabilen, değiş tokuş edebilen, analiz edebilen ve sunabilen sistemlere yol açar. Bu iç görüler daha akıllı, daha hızlı iş kararları almak için endüstriyel şirketlere yardımcı olabilir.

Güç İş Modelinin Evrimi; İş modelleri, rekabetin girişimi ile birlikte 1970'lerin sonlarından itibaren daha belirgin bir şekilde değişmeye başladı; çevre politikası, petrol şokları ve havayolu ve kamyon endüstrilerini rekabete açma girişimleri statükonun bozulmasına neden oldu. Son 40 yılda meydana gelen evrim, kalıcı bir miras bırakan genellikle iki büyük kategoriye ayrılır: rekabetin tanıtılması ve tekel enerji şirketlerinin işleyiş şeklinin reforme edilmesi. ABD'de reformları başlatmak için önemli bir adım, daha küçük üreticilerin oyunun içine girmesine olanak tanıyan 1978'e ait Kamu Hizmeti Düzenleme Politikaları Yasası (PURPA) tarafından kaynaklanmıştır.

3. AKILLI ŞEBEKELER

3.1. Bağlam, Konsept ve Genel Tanım [3], [4]

Sürekli artan toplam elektrik talebi (kişi başına enerji kullanımında artışla yansıtılır) ve iklim değişikliğinin ana zorlukları, dünya elektrik şebekesinin altyapısına büyük bir yük getiriyor. Mevcut şebeke, elektriğin nispeten ucuz ve bol olduğu bir dönemde tasarlanmış ve inşa edilmişti; öncelik, elektrifikasyonu genişletmekti. Ancak günümüzde dünya, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı (yenilenebilirler ve düşük karbon emisyonlu teknolojiler) gibi tamamen yenilikçi kavramların belirleyici olacağı yeni bir aşamaya hızla yaklaşıyor.

Bu bağlamda, mevcut şebekenin "daha akıllı" hale getirilme süreci, değişimin başarıyla ele alınabilmesi için temeldir. Major Ekonomiler Forumu tarafından belirtildiği gibi, bu güncelleme lehine birçok faktör bulunması nedeniyle gereklidir. Bu faktörler şunlardır:

3.1.1. Teknolojik faktörler:

- Tamamen köhneleşmiş iletim ve dağıtım şebekesi
- Nitelikli işgücünün azalması (nitelikli teknisyenlerin yüzde 50'si önümüzdeki 5 ila 10 yıl içinde emekli olacak)
- Dünya çapında yeni teknolojinin geliştirilmesi ve mevcut teknolojinin iyileştirilmesi için büyük sermaye yatırımları
- Normatif veya düzenleyici faktörler:
- Birçok hükümetin istekliliği (örneğin Birleşik Krallık, Amerika Birleşik Devletleri, Brezilya, Avustralya, Hollanda ve İsveç)
- Yenilenebilir enerjiyi teşvik eden dağıtılmış enerji üretiminin geliştirilmesi
- Enerji bağımsızlığı gibi ulusal güvenlik hedeflerinin başarılması
- Piyasa verimliliğinde önemli iyileştirmeler
- Ekonomik faktörler:
- Güvenilirliğin artırılması (kesinti sıklığının ve süresinin azaltılması dahil)
- Doğrudan ve dolaylı işgücü maliyetlerinin azaltılması (örneğin sayaç okumaları ve bakım, şirket araçları, sigorta, onarımlar vb.)
- Sistem kayıplarının azaltılması (sistem planlaması ve kaynak yönetimi gibi)
- Gelir koruma (daha kesin faturalama ve hırsızlık/fraud önleme/tespit etme aracılığıyla)
- Elektrik sektöründe yeni pazarların ortaya çıkması
- Çevresel faktörler:
- Karbon emisyonlarının azaltılması:
- Doğrudan - Elektrik sadece toplam yakıt tüketiminin yüzde 17'sini oluşturmasına rağmen, sektör, yoğun fosil yakıt kullanımı nedeniyle küresel sera gazı emisyonlarının yüzde 38'inden sorumludur.
- Dolaylı olarak da, kirlilik yapmayan elektrikli araçların sayısının sürekli artmasına bağlı olarak yenilenebilir enerji üretiminin artırılması ve mevcut şebekeye entegre edilmesi
- Enerji verimliliğinin artırılması

3.1.2. Sosyal faktörler:

- Sürdürülebilirlik talebine cevap verme ve kullanıcıları enerji kullanımlarını yönetmeye dahil etme
- Sürekli enerji talebindeki artışı karşılama
- Müşteriye enerji tasarrufu yapma ve enerji depolama seçenekleri sunma

Yukarıda bahsedilen faktörlerin ötesinde, birçok hükümeti elektrik şebekelerini modernize etmeye iten diğer bazı riskler de bulunmaktadır. Dünya Ekonomik Forumu'na göre, aralıklı yenilenebilir kaynaklardan enerji sağlamak ve elektrikli araçları bağlamak ve şarj etmek için akıllı bir şebeke altyapısı olmadan, enerji sisteminin istikrarını zedeleme potansiyeli bulunmaktadır. Bu teknolojilerin görece düşük penetrasyon seviyeleri bile istikrarsızlığa yol açarak kesinti riskini önemli ölçüde artırabilir. Hükümetler şimdi harekete geçerek, elektrik şebekesinin yakın gelecekte bir darboğaz haline gelmesini önlerler, çünkü bu, düşük karbon emisyonlu sürdürülebilir bir geleceğe ulaşmanın yolunu tıkayacaktır.

3.2. Tanım [3,5]

Akıllı şebeke, teknolojinin birçok yönünü kapsayan tek boyutlu bir kavram değildir. Genel olarak konuşursak, akıllı şebekeleri "elektrik enerjisinin değer zincirini optimize eden geniş bir çözüm yelpazesi" olarak tanımlayabiliriz. Daha ayrıntılı bir düzeyde, Avrupa'nın Enerji Teknolojileri Platformu (sektörün Avrupalı paydaşlarını bir araya getirir) akıllı şebekeleri, "tüm kullanıcıların - üreticiler, tüketiciler ve her ikisini de yapanlar - davranış ve eylemlerini entegre edebilen,



sürdürülebilir, ekonomik ve güvenli elektrik tedarikini etkili bir şekilde sağlayabilen elektrik ağları" olarak tanımlamıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde, enerji sektörünün iki ana tanımı vardır, biri Enerji Bakanlığı'ndan (DOE) diğeri Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü'nden (EPRI)' dir.

Enerji Bakanlığı: "Grid 2030, her müşteriyi ve düğümü izleyen ve kontrol eden, elektrik santrali ile cihaz arasında ve her ikisi arasında elektrik ve bilgiyi çift yönlü olarak sağlayan tam otomatik bir güç iletim ağıdır. Akıllı şebekeler, elektrik sisteminin güvenilirliğini, güvenliğini ve verimliliğini artırmak için dijital teknoloji kullanır."

Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü: "Akıllı Şebeke terimi, elektrik iletim sistemini modernize etmeyi ifade eder; böylece merkezi ve dağıtılmış jeneratörlerden başlayarak yüksek gerilim iletim ağı ve dağıtım sistemi, endüstriyel kullanıcılar ve bina otomasyon sistemleri, enerji depolama kurulumları ve son kullanıcılar ile termostatları, elektrikli araçları, cihazları ve diğer ev aletlerine kadar olan birbiriyle bağlantılı elemanlarının işleyişini izler, korur ve otomatik olarak optimize eder."

Accenture ile yapılan bir çalışma kapsamında, Dünya Ekonomik Forumu, akıllı bir şebekenin tanımında yedi temel özelliği belirledi: Bunlar;

1. Kendini onaran ve dayanıklı
2. Gelişmiş ve düşük karbon teknolojilerinin entegrasyonu
3. Talep yanıtını etkinleştirme
4. Varlık optimizasyonu ve operasyonel verimlilik
5. Müşteri dahil etme
6. Güç kalitesi
7. Piyasa güçlendirmesidir.

Akıllı şebeke, geleneksel elektrik şebekesinin güncellenmiş bir sürümüdür. Birden fazla ağı ve çeşitli enerji üretim şirketlerini ekleyerek, iletişim ve koordinasyon seviyeleri farklı olan çeşitli operatörler kullanırlar. Temel olarak, akıllı şebekeler, sağlayıcılar, tüketiciler ve uzun mesafe iletim ve yerel dağıtımından sorumlu şebekeler arasındaki bağlantıyı, otomasyonu ve koordinasyonu artırma etkisine sahiptir. Akıllı bir şebeke ayrıca sistemin içindeki tüm elektriği doğru bir şekilde izleyen ve ölçen yeni bir kontrol sistemi içerir. Akıllı bir şebeke ayrıca enerji kayıplarını azaltmak ve yenilenebilir enerjinin alternatif olmayan geleneksel kaynakları şebekeye entegre etmek için yeni süper iletken iletim hatları da içerebilir.

Sonuç olarak, akıllı bir şebeke kavramı belirli bir cihaz, nesne veya eyleme özetlenemez, çünkü bu daha çok bir bütünsel sistem vizyonudur, her ülkenin enerji politikası önceliklerine dayalı olarak belirli hedeflere ulaşmaya yardımcı olacak güncellenmiş bir altyapı tarafından desteklenen bir dizi eylemdir.

3.3. Her Ülkeye Uygun Olmamak [3]

Bu, akıllı şebekelerin temel fikrine ve ana gücüne dayanan ana kavramdır. Birçok faktörün dahil olması, akıllı şebekelere geçişi her elektrik sisteminin zayıflıklarına veya hedeflerine dayanarak belirli alanlara bölen bir etkiye sahiptir. Aynı zamanda çözümler açısından esneklik, altyapı mirası ve politika yapıcılarının hedeflerinin ışığında her şebekenin gereksinimlerine uygun bir şekilde sistemi adapte etmeyi mümkün kılar.

Çok işlevlilik: bilgi ve iletişim teknolojilerinin (ICT) sisteminde kullanılması, akıllı şebekeleri evrensel olarak uygulanabilir bir teknoloji haline getiren faktördür. Gelişmiş ülkelerde, akıllı şebekelerin benimsenmesinin temel nedenleri, kayıpların azaltılması, sistem performansı ve kaynak optimizasyonu, yenilenebilir enerjilerin entegrasyonu, enerji verimliliği ve talebe hızlı yanıt mekanizmasıdır. Gelişmekte olan ülkelerde ise farklı faktörler bulunmaktadır. Örneğin, elektrik tedarikinin kalitesi ve güvenilirliği, genişleyen bir ekonomiyi desteklemek için temel öneme sahiptir ve modern bir elektrik altyapısı tasarlayarak, planlayarak ve geliştirerek nispeten hızlı ve sürdürülebilir bir şekilde başlangıçtan itibaren elde edilebilir. Teknoloji ve uzmanlığın bu hayati transferi, her ülkenin belirli coğrafi koşullarını ve modernize edilecek şebekenin teknik özelliklerini daima hesaba katmalıdır.

Bir akıllı şebeke geliştirilmesinin, belirli politikaların önleyici planlama ve ayrıntılı maliyet-fayda analizi ile yanıt olması gerektiğinin altını çizmek önemlidir. Elektrik şebekesinin karmaşık doğası, yeni bilgi ve iletişim teknolojilerinin (ICT'ler) potansiyelini kullanabilen aşamalı, hedefe yönelik bir yaklaşımı gerektirir. Elektrik şebekesinin tüm bileşenleri, yukarıda belirtilen alanlarda birçok stratejik hedefin başarılmasını kolaylaştıran bir modernleştirme sürecinin parçası olarak işlevselliği değiştirilip iyileştirilecektir.

Tarihsel olarak, bu süreç 1980'lerin başlarına kadar uzanmaktadır. Bu dönemde enerji tüketimini kontrol etmek ve ölçmek için elektronik bir sistem kurma çabaları başlamıştır. Otomatik sayaç okuma, büyük müşterilerin yüklerini izlemek için kullanıldı. Ardından, 1990'larda kullanımın gün içindeki değişikliklerini kaydetmek için gelişmiş sayaç altyapısı kullanıldı. Günümüzde ise akıllı sayaçlar, ICT 'lerin tanıtılmasında ilk büyük adımdır. Akıllı sayaçlar şebekedeki verileri

gerçek zamanlı olarak izler, kullanıcılar için etkileşimli bir cihaz olarak çalışır ve elektrik hizmetleri sektöründe yeni pazarlar ve fırsatlar yaratmıştır. 2000'lerin başında, İtalyan Telegestore projesi, düşük voltajlı elektrik şebekesi üzerinden bağlı 27 milyon akıllı sayacın merkezi sistemle bilgi paylaşabilen ilk büyük ağıydı. En son Geniş Alan Ölçüm Sistemi gibi projelerde ise Kablosuz Ağ Üzerinden Elektrik Hattı (BPL) teknolojisi kullanılmaktadır, bu projeler Çin'deki geniş alan ölçüm sistemini içermektedir.

3.4. Sistemik Vizyon: Akıllı Şebeke Fonksiyonları [3,6]

Bugünün şebekeleri genellikle büyük elektrik santrallerinden elde edilen enerjinin, düşük voltajlı iletim sistemlerine bağlı olarak kullanılmasına dayanır. Bu sistem, düşük ve orta voltajlı yerel dağıtım sistemine gerekli enerjiyi sağlamak için alternatif güç kullanır. İletim ve dağıtım şebekesi genellikle ulusal veya bölgesel kapsamı olan doğal tekelcilikler tarafından yönetilirken, denetim ilgili gözetim otoriteleri tarafından yapılır. Bununla karşılık, elektrik üretim sektörü giderek daha rekabetçi hale gelmiş olup birçok aktörün katılımına açıktır, ancak bazı ülkelerde belirgin istisnaları olduğu açıktır.

Ancak, genel görüntü, enerjinin santrallerden, iletim ve dağıtım sisteminden son kullanıcıya tek yönlü akışının olduğu bir şebeke olarak kalmaktadır. Bu bağlamda, enerji tedariki ve şebeke kontrolü genellikle birden fazla bölgeyi aynı yerden kontrol edebilecek merkezi tesislerin sorumluluğundadır. Tüketici katılımı sınırlıdır veya neredeyse hiç yoktur ve iki uç arasında neredeyse hiç iletişim bulunmamaktadır.

Geleneksel şebeke tasarımı ve planlaması, ölçek ekonomilerinin gelişimine uygun olarak değişmiştir, bu nedenle hakim model, genellikle büyük elektrik santrallerinden oluşan ve genellikle üretim için temel girdilere yakın konumlara yoğunlaşan bir modeldir (kömür havzaları veya soğutma için de kullanışlı olan su kaynakları gibi). Geleneksel şebekeler genellikle bölgesel veya ulusal kapsam ve kapasiteye sahiptir. Başlangıçta ülkelerin acil durumlarda birbirlerine yardımcı olmaları için geliştirilen herhangi bir bağlantı, şimdi elektriğin devletlerarası ticarileştirilmesi için giderek daha fazla kullanılmaktadır.

Genel olarak mevcut şebeke altyapısı, tüm sistemin modernizasyonundan kaynaklanan zorluklar ve fırsatları ele almak için iyi bir başlangıç noktasıdır. Bununla birlikte, Avrupa Teknoloji Platformu'nun önerdiği gibi, değişim süreci ideal olarak önceden planlanmış ve koordinasyonlu bir şekilde devrim niteliğinde değil aşamalı olarak olmalıdır. Bu nedenle, uzun vadeli bir strateji belirleme, akıllı şebekelere yaklaşmanın temel bir aracı haline gelir. Teknolojik olanaklar, elektrik şebekesinin altyapısı ve iletişim sistemi ile ilgili tüm fonksiyonları içerir. Bu yön, mevcut şebekenin çoğu durumda yaklaşık bir yüzyıl öncesine dayanması nedeniyle temeldir. Buna bağlı olarak, şebekenin teknik kapasiteleri ile artan enerji kullanım ihtiyaçları arasında önemli bir boşluk bulunmaktadır ve elektrik akışının yönetiminde artan zorluklar yaşanmaktadır.

Tüm dünyada sera gazı emisyonlarını düzenlemek için yasaları yürürlüğe koymaktadır, bu da küresel ısınma konusundaki kamu farkındalığının çok yüksek olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, akıllı şebekelerin tanıtımı ve işletilmesi, enerji şirketlerinin çevreye daha iyi bakım sağlayan iş uygulamalarını benimsemeleri konusunda tüm taraflardan baskı altında oldukları gerçeği göz önüne alındığında büyük bir rol oynamaktadır. Artan enerji verimliliği ve gelecekteki elektrikli araçların tanıtılması sayesinde zararlı ve sera gazı emisyonlarının azaltılması; Merkezileşmiş üretimden dağıtık üretime geçişin etkisini gösterecek olan yenilenebilir ve aralıklı kaynakların yüksek penetrasyon seviyesinin başarılması.

3.5. Teknolojik Yönler [3,6]

- Otomasyon ve kendini onarma kapasiteleri bağlamında, modern bir dağıtım şebekesi bağlamında, otomatik olarak çalışma ve kendini onarma kapasitesi, sistemin sorunlu elemanlarını izole etme ve ideal olarak insan müdahalesine gerek kalmadan normal işleyişi geri yükleme imkanını sağlayan bir mühendislik tasarımını içerir. Kendini onarma işlemleri, tüketiciye sağlanan hizmette herhangi bir kesintiye azaltacak veya hatta ortadan kaldıracaktır. Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı ve Ulusal Enerji Teknoloji Laboratuvarı için yapılan bir çalışma, bu işlevi modern elektrik şebekesinin bağımsızlık sistemi olarak net bir şekilde tanımlar. Genellikle akıllı bir şebeke, potansiyel problemleri öngörmek, mevcut veya ortaya çıkan hataları tespit etmek ve sonuç olarak uygun tedavi yanıtlarını hemen devreye sokmak için kendisini sürekli olarak değerlendirir ve izler.
- Verilerin neredeyse gerçek zamanlı olarak iletilmesini ve depolanmasını kolaylaştıran akıllı sayaçların tanıtılmasından, sistemin farklı seviyelerine yerleştirilen gelişmiş sensör ağına kadar, bir hatanın izole edilmesi ve normal işleyişi geri yüklemek için sorumlu en yakın cihazları uyarabilme olanağı vardır. Sensör ağının, sistem arızalarını önceden tahmin edebilecek desenleri algılayabilme yeteneği de vardır, bu da öngörülen olay gerçekleşmeden önce bu koşulları hafifletme kapasitesine gerçek zamanlı olarak sahip olunmasını sağlar.



- c) Modern elektrik şebekesi kesinlikle kendini, potansiyel işletme sorunlarını ve bunları bağımsız ve otomatik olarak çözme yolunu bilecektir. Bunun başarılmasının anahtarı, şebekenin akıllı cihazları tarafından toplanan geniş veri yelpazesinin kullanılmasıdır, bu cihazların işlevi bu verilerin hızlı analizini ve sonraki düzeltilmiş eylemleri kolaylaştırmaktır.
- d) Amaçlar ve faydalar, kendini onarma işlevinin genel amacı, negatif olayların etkisini mümkün olduğunca küçültmektir. Kesinti sayısını ve süresini sınırlamaya yönelik her türlü eylem, beslemenin geri yüklenme süresini azaltma ve şebekeyi yeniden yapılandırarak en iyi güvenilirlik ve hizmet kalitesini sağlama amacıyla tanımlanır ve çeşitli bakım açılarından birçok faydası vardır:
- e) Güvenilirlik, sık sık yaşanan hizmet kesintileri nedeniyle oluşan boşlukları doldurmak, tüm sistemin güvenilirliğini artırma konusunda önemli bir etkiye sahip olacaktır; ayrıca kesintilerin önlenmesiyle elde edilen tasarruflar sayesinde ekonomik faydalar da sağlanacaktır.
- f) Kamu güvenliği, sistemin altyapısının durumu üzerinde artan kontrol, daha etkili bir kamu güvenliği sağlayacaktır. Örneğin, şebekenin yeniden yapılandırılması, tüm açık ve düşmüş kabloları uzaktan ve hızla devre dışı bırakmayı mümkün kılacaktır. Ayrıca, kesintilerin süresini azaltmak, elektrik kullanan tıbbi yardım alan hastalar üzerindeki etkiyi azaltırken, kesintilerin sıklığını azaltmak suç faaliyetlerini gerçekleştirme fırsatlarını sınırlayacaktır.
- g) Yeni gelir, dağıtılmış enerji kaynakları (DER) ve talep yanıtı (DR) için enstrümanların kurulması, zirve düşürme ve rezerv birikimi sistemleri oluşturacak, bunların enerji piyasasında ticari olarak değerlendirilmesi sahipler için yeni gelir akışları oluşturması beklenmektedir.
- h) Kalite, modern şebeke, sağlanan enerjinin kalitesini gerçek zamanlı olarak algılayacak ve düzelterek, bu da bu yönle ilgili tüm kayıpları ortadan kaldıracaktır.
- i) Çevre, kendini onarma süreci, (merkezi ve dağıtılmış) yenilenebilir enerji üretiminin şebekeye entegrasyonunu kolaylaştıracak ve bunun sonucunda CO₂ emisyonlarını önemli ölçüde azaltacaktır. Bu ayrıca kesintilerin ve ekipman arızalarının çevresel etkisini azaltacak, ayrıca sistemin elektrik kayıplarını azaltacaktır.
- j) Engeller, mevcut durumdaki şebeke, kaçınılmaz sistem arızalarının ardından kaynakların korunmasına odaklanarak altyapı hasarını önlemekle ilgilenir. Bu perspektif, modern akıllı şebeke vizyonunun tamamen zıttıdır. Gerçek zamanlı olarak şebeke içindeki iletim ve dağıtım problemlerine yanıt verebilen ve önleyici bir yaklaşımı kullanan ideal bir sisteme ulaşmanın yolu, çeşitli türde engellerle doludur:
- k) Finansal kaynaklar, kendini onaran bir enerji şebekesi için iş durumları iyi sonuçlar garanti eder, özellikle sosyal faydalar dahil edilirse. Bununla birlikte, düzenleyici otoriteler genellikle büyük yatırımları yetkilendirmeden önce kapsamlı ve eksiksiz kanıtlar talep eder.
- l) Hükümet desteği, özel sektör, araştırma ve geliştirme sektörünü teşvik etmek için herhangi bir hükümet programının yardımı olmadan yeni teknolojiler geliştirmek için yeterli kaynağa sahip olmayabilir. Gerçekten de, enerji sektörü sermaye yoğun olmasına rağmen, bazı şirketler zorlu piyasa koşullarından geçmiş ve bazıları olumsuz sonuçlar sunmuştur.
- m) Uyumsuz altyapı, en eski ekipman, onu kendini onarma işlevinin gereksinimleriyle uyumlu hale getirmek imkansızsa değiştirilmek zorunda kalabilir. Bu, ekipmanın ömrünün sonuna ulaşmamışsa bir tür "emeklilik" olması durumunda, bu maliyetleri kullanıcılar için artırabileceği için kamu hizmeti şirketleri ve düzenleyiciler için bir sorun olabilir.
- n) Teknolojik gelişimin hızı, tarihsel olarak, elektrik sektöründeki teknolojik gelişim süreci çok hızlı ilerlememiştir. Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Enerji Teknolojisi Laboratuvarı (NETL) tarafından belirtildiği gibi, yüksek hızlı entegre iletişim sistemi, akıllı elektronik cihazlar, gerçek zamanlı tarifeleri kullanan talep yanıtı (DR) sistemleri, karlı ve çevre dostu bir dağıtık enerji kaynağı (DER) sistemi gibi daha önemli gelişme ve dağıtım gerektiren belirli alanlar bulunmaktadır.
- o) Politika ve düzenleme, yeni inşaat projeleri genellikle otoritelerden az ilgi görür. Kendini onarma fonksiyonlarına yatırım yapmaktan kaçınmaya devam edecek enerji şirketleri, çekici getiriler teşvik edilmediği sürece yeni teknolojilere yatırım yapmak istemeyebilir.
- p) İşbirliği, birçok enerji şirketi için meydan okuma, devre düğümlerinin kurulması ve gerçek bir akıllı şebeke uygulamak için gereken bilgi alışverişini özgürce yapabilmek için gerekli karşılıklı işbirliğine ulaşmaktır.

3.5.1. Doğal Afetler ve Yapay Saldırı Durumunda Daha Yüksek Direnç ve Güvenilirlik

Bu bağlamda, Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı şu üç genel özelliğe dikkat çeker: Tehditlerin ve savunmasız noktaların belirlenmesi, şebeke koruması ve güvenlik risklerinin sistem planlamasına dahil edilmesidir.

İnsan yapımı siber saldırılar konusunda, akıllı şebeke savunma sistemi, şebeke ve ekonomik sistem üzerindeki etkiyi minimize etmek için caydırıcı, önleyici, tespit edici, otomatik yanıt ve hafifletme unsurları içeren güvenlik protokolleri kullanılır.

- Amaçlar ve faydalar, şebeke direncini ve güvenilirliğini artırmanın genel amaçları, kesinti sayısını ve süresini azaltmak ve bir felaket durumunda enerji tedarikini hızla yeniden sağlamaktır. Dahası, güvenlik iyileştirmelerinin getirilmesi, dolaylı olarak şebekenin güvenilirliğini, bilgisayar ve iletişim sistemi ile operatörlerin karar verme sürecini optimize eder. Genel faydaların çoğu, kendini onarma fonksiyonu altında listelenenlerle genel olarak benzerdir; insan kaynaklı tehditler açısından, dışsal saldırılara karşı kendini otomatik olarak savunabilen bir sistem, özellikle bu saldırıların neden olabileceği etkiyi en aza indirdiği sürece, diğerlerine göre çok daha çekici bir hedef olmayacaktır.
- Engeller, mevcut elektrik şebekesi, insan kaynaklı saldırılara ve doğal felaketselere karşı son derece savunmasızdır. Bu tür tehditlere karşı dirençli bir sistem ve enerji tedarikini hızla yeniden sağlama ideali, aşağıdaki engelleri aşmayı gerektirir:
- Teknoloji, geleneksel izleme sistemi, ölçüm, parametre veya topoloji ile ilgili olabilecek bariz hatalarla karşılaştığında çok zayıf ve başarısız olma eğilimindedir. Bu nedenle, modern bir şebekenin çeşitli sektörlerini denetleyebilecek geniş alan izleme sistemi gibi yeni izleme teknolojilerini benimsemek son derece önemlidir.
- Bilişim teknolojisi, analog bir elektrik altyapısından dijitale geçiş ve akıllı sayaçlar, sensörler ve gelişmiş bir iletişim ağı gibi faktörlerle gelen veri artışı, bu yapının güvenliği ile ilgili belirli sorunları beraberinde getirir. Başka bir deyişle, şebekeyi savunmasızlıktan kurtarmak için tasarlanmış herhangi bir cihaz, özellikle organize hacker'ların tehlikesi açısından, bilgi teknolojisiyle ilgili yeni ve sonraki risklere neden olur. Özetle, sistemdeki zayıf bir noktanın güçlendirilmesine yönelik başarılı bir çaba, başka bir yönünde risk faktörü oluşturabilir ve stratejik ulusal öneme sahip bir yapıda bir boşluk açabilir.

3.6. Düzenleyici Yönler [3]

Akıllı şebeke, kullanıcıları elektrik piyasasının aktif bir parçası haline getirme fırsatı sunar. Müşteri beklentilerinin sürekli arttığı bir ortamda, akıllı şebeke altyapısı ve çeşitli araçları, enerji kullanımlarını en iyi şekilde yönetme konusunda tüketicileri bilgilendirmeye yardımcı olacak ve bu da ekonomik ve çevresel düzeylerde önemli etkilere sahip olacaktır, özellikle elektrik tedarik maliyetinin düşmesi sayesinde. Bugünün çoğu tüketici, elektrik piyasasındaki tarife dalgalanmalarından tamamen kopuktur. Müşteriler, nesnel bir maliyet değişikliğine tepki göstermeyen önceden belirlenmiş fiyatlarla enerji satın alırlar. Ancak, elektrik piyasasının gerçekliği farklıdır, çünkü maliyet, hatta bir günde içinde bile geniş bir şekilde değişebilir.

Akıllı teknoloji, yeni nesil sayaçlarıyla kullanıcılara enerji kullanımları, enerji maliyetleri ve çevresel etki hakkında gerçek zamanlı bilgi sağlayabilir. Bilgilendirilmiş kullanıcılar, enerji kullanımlarını, elektrik sisteminin toplam talebi karşılayabilme kapasitesine göre etkileşimli olarak yönetebileceklerdir. İki veya üç hızlı tarife, kullanıcılara fiyatları gösterecek, böylece alışkanlıklarını değiştirebilirler, bu da finansal ve enerji tasarruflarını teşvik eder (bu, son kullanıcıların yanı sıra tüm sistemi de avantajlı kılar).

Bu konudaki genel engeller;

- Finansal kaynaklar, sayaçlar, ya enerji şirketi ya da kullanıcı tarafından sahipleniyorsa onları değiştirmek için büyük miktarlarda para yatırmak sorun olmaktadır. Bazı durumlarda, yatırımın geri kazanılma olasılıkları, elektromekanik sayaçlardan dijital sayaçlara geçişi zorlaştırmaktadır.
- Teknoloji, talep yanıtı (DR) ve dağıtık üretimi besleyen cihazlar hala geliştirme aşamasındadır ve bu nedenle araştırma ve geliştirme alanı sürekli olarak önemli kaynaklara ihtiyaç duyacaktır.

3.6.1. Merkezi Üretimden Dağıtık Üretime Geçiş

Bu fonksiyon, çevresel yönler bağlamında daha detaylı bir şekilde analiz edilmesi gerekecektir. Bununla birlikte, elektrik sisteminin bu kadar radikal bir dönüşümü, düzenleyici çerçevenin elektrik üretimi için yeni pazar vizyonuna uygun hale getirilmesi için otoritelerin önemli bir şekilde katılımını gerektirir.

Mevcut şebeke, merkezi üretim tesislerinden elektriği önceden belirlenmiş, tahmin edilebilir ve sabit yükler kullanarak kullanıcılara iletmek üzere tasarlanmış ve inşa edilmiştir. Çoğu durumda, bu bağlam, daha küçük üreticilerin pazardaki erişimini sınırlamış ve bu önemli bir engel haline gelmiştir.

Hükümetlerin enerji karışımındaki yenilenebilir kaynakların payını artırmaya yönelik bir istekliliği, dağıtık üretimi teşvik de dahil olmak üzere, elektrik sisteminde tek tek küçük olsalar da, toplamda önemli bir kaldıraç oluşturan birçok yeni aktörün ortaya çıkmasına olanak tanımıştır.

Bu bağlamda, düzenleyicilerin amacı, paydaşlara (dağıtımda yer alan küçük üreticiler de dahil olmak üzere) faaliyetlerine devam etmek için en uygun koşulları sağlamak için elektrik piyasasının kurallarını yeniden düşünmektir. Bu, daha güvenli bir arz temeline dayanan küçük ölçekli yenilenebilir üretim kaynaklarını teşvik etmek stratejik bir öncelik olan ülkelerde daha da önemlidir.

3.7. Hukuki ve Normatif Yönler [3]

Akıllı şebeke teknolojisinin uygulanması mevcut hukuki ve düzenleyici çerçevenin detaylı bir şekilde gözden geçirilmesini ve uyarlanmasını gerektirir. Bu, veri gizliliği, siber güvenlik, enerji pazarı düzenlemeleri ve tüketici hakları gibi konuları içerir. Akıllı şebekeler, gelişmiş sayaç ölçümü, gerçek zamanlı veri iletimi ve talep cevap programları gibi yeni unsurlar getirir. Bu, müşteri verilerinin korunduğundan ve veri kullanımında onay ve şeffaflığın sağlandığından emin olacak yasal düzenlemeleri gerektirir. Ayrıca, siber tehditlere karşı şebekeyi korumak için siber güvenlik düzenlemeleri güçlendirilmelidir. Bununla birlikte, enerji pazarı düzenlemelerinin, dağıtık üretim, talep yönetimi ve şebeke dengeleme hizmetlerini içeren değişikliklere uygun hale getirilmesi gerekir. Bu, tüketici üreticiler için adil tazminat ve teşviklerin sağlanması ve şebeke operatörlerinin enerji akışını dinamik ve merkezi olmayan bir ortamda etkili bir şekilde yönetebilmeleri için mekanizmaların oluşturulmasını içerir.

3.7.1. Elektrik Kalitesinin İyileştirilmesi

Sistemin genelinde enerji kalitesini izlemek için sayaçlar, tedarikin kalitesini ve istikrarını artırmak için çeşitli depolama cihazları, elektrik dalgalarındaki bozuklukları anında düzeltten birçok elektronik ekipman, dağıtık üretim ve temiz enerji tedariki için mikro türbinler ve yakıt hücreleri gibi yeni ekipmanlardır. Akıllı bir şebeke, gelişmiş kontrol ve izleme metodolojisi sayesinde, genellikle sistemdeki iletim ve dağıtım bileşenlerinden kaynaklanan elektrik kalitesinin düşmesini önemli ölçüde azaltacaktır. Bununla birlikte, bu teknolojinin şebekeye uygulanabilmesi için hükümet, enerji şirketleri ve düzenleyici arasında koordine edilen çaba ve eylemlere ihtiyaç vardır.

Yenilenebilir kaynakların ve mikro üretimin piyasaya aşamalı olarak dahil edilmesi, teknolojik gelişmelerini önemli ölçüde artırarak (düşük üretim maliyetlerini yansıtarak) yenilenebilir enerjilerin karışımına katkısını artırması beklenir. Akıllı şebekelerin avantajları kullanılarak, dağıtılmış üretim, yerel düzeyde kolayca dağıtılabilen ek bir elektrik kaynağı üretmek için yönetilebilir.

3.8. Çevresel Boyutlar [3,5]

Akıllı şebeke teknolojisi, şebekenin yenilenebilir enerji ve dağıtılmış üretim dinamiklerine daha iyi adapte olmasını sağlayacak. Bu, enerji şirketlerine ve tüketicilere bu kaynakların faydalarına daha doğrudan erişim sağlayacaktır. Akıllı şebekenin kapasiteleri, elektriğin iki yönlü akışını kolayca ve doğrudan kontrol etmeyi mümkün kılacak, ayrıca dağıtım düzeyinde izleme, kontrol ve yedekleme işlemlerini mümkün kılacaktır. Büyük elektrik santrallerinden (kaynağın ne olursa olsun) merkezi üretimin yanı sıra, modern elektrik şebekesi dağıtılmış enerji kaynakları (DER) yelpazesine de yer açmalıdır. Bu tür üretim henüz yaygın değil, ancak çevresel taahhütlerden ilham alan Devlet teşvikleri gibi faktörlerin, yakın gelecekte dağıtılmış üretimde büyük bir artışa yol açması bekleniyor. Ayrıca, yenilenebilir kaynakların merkezi üretimindeki yükselen trend (ana karakteristiği ve şebeke operatörleri için sorun oluşturan aralıklı ve öngörülemeyen girişleri) bu kaynakların sisteme entegrasyonu için bir teşvikten ziyade bir engel oluşturabilir.

Akıllı şebekelerin sağladığı önemli bir avantaj, elektrik üretimi ile doğrudan ve dolaylı olarak ilişkilendirilen karbon emisyonlarının toplamında bir azalmadır. Elektrik dünya genelinde toplam yakıt tüketiminin yalnızca %17'sinden sorumlu olsa da, elektrik sektörü özellikle kömür gibi fosil yakıtların yoğun bir şekilde kullanılması nedeniyle küresel sera gazı emisyonlarının %38'inden sorumludur. Şebeke modernizasyonu, sektörün fosil yakıtlara olan güçlü bağımlılığını azaltmasını mümkün kılacak ve aynı zamanda büyük enerji kayıplarına neden olan şebeke verimsizliklerini azaltacaktır. Uluslararası Enerji Ajansı'na göre, dünya elektrik sektörünün önümüzdeki 20 yıl içinde güncellenmesi için yaklaşık 13 trilyon ABD dolarlık bir yatırımın gerekeceği tahmin edilmektedir. CO₂ emisyonlarının doğrudan azaltılması, yük piklerinin yönetimi, teknik kayıpların minimize edilmesi, enerji verimliliği programlarının desteklenmesi, fiyat politikaları için kullanıcı geri bildirimleri ve kamusal ve ticari alanların enerji kullanımının yönetimi gibi çeşitli faktörleri içerir. Dolaylı emisyon azaltımı ise temel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji karışımına artan entegrasyonu ve elektrikli araçların gelecekte tanıtılması (altyapı bu pazarı kesin olarak açtığı gibi iki faktörden oluşur. a) Amaçlar ve faydalar;. Faydaların toplam düzeyde kesin bir şekilde hesaplanması zor olsa da, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından CO₂ emisyonlarının azaltılmasına ilişkin bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaya göre, akıllı şebekelerin küresel olarak uygulanması, 2050 yılına kadar yıllık 0,9 ila 2,2 Gigaton arasında CO₂ emisyonlarını azaltmaya yardımcı olacaktır. Bu, 730 orta büyüklükteki enerji santralının yıllık emisyonlarına eşdeğerdur. Ayrıca, ABD'de ve Major Ekonomiler Forumu üye ülkelerinde ortaklaşa yapılan diğer çalışmalar da bulunmaktadır. ABD'deki çalışma, yıllık olarak 211 milyon tona kadar CO₂ azaltımını tahmin etmiştir. Bu, yalnızca 2006 yılında kaydedilen toplam emisyonların %9'una eşdeğerdur. b) Azalım doğrudan azalma; İyileştirilmiş enerji verimliliği ve daha büyük tasarruflar (31 milyon ile 114 milyon ton arasında),



dolaylı azalma: yenilenebilir enerji kaynaklarının ve elektrikli araçların entegrasyonudur (30 milyon ile 97 milyon ton arasında). Major Ekonomiler Forumu için Accenture tarafından yapılan bir çalışma, üye ülkelerde akıllı şebekelerin uygulanmasının CO₂ emisyonlarını yaklaşık %20 azaltacağını gösterdi. Ayrıca, en gelişmiş ülkelerde karbon emisyonları açısından 608 milyon tonu bulan teknik kayıpları önemli ölçüde azaltacaktır.

4. SONUÇ

Akıllı şebekelerin temel kavramları ve bu alandaki genel tanımı ele alınıyor. Akıllı şebekeler, geleneksel elektrik şebekelerinin evrimini temsil ederken, enerji üretimindeki yenilikçi kaynakların artışıyla rüzgar ve güneş enerjisine dayalı daha küçük ölçekli sistemlerin öne çıktığı bir dönüşüm sürecini işaret ediyor. Bu değişim, elektrikli araç sayısındaki artış ve enerji tüketim alışkanlıklarındaki değişikliklerle tüketim tarafında önemli etkiler yaratmakta, şebeke yükünü artırmaktadır. Bu nedenle, gelecekteki akıllı şebekelerin bu değişikliklere uygun olarak planlanması ve geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu kapsamda, yenilenebilir enerji entegrasyonu, veri analitiği, yapay zeka uygulamaları, enerji depolama teknolojilerinin gelişimi, iletişim altyapısının ilerlemesi gibi faktörlerin araştırılması gerekliliği vurgulanmaktadır. Gelecekteki akıllı şebekeler, enerji sektöründe önemli bir değişimi temsil edecek ve enerji yönetimi alanında büyük etkiler yaratacaktır. Yenilenebilir enerji entegrasyonu, veri analitiği ve yapay zeka uygulamaları, enerji depolama teknolojileri ve iletişim altyapısının gelişimi gibi faktörler, akıllı şebekelerin daha etkili, güvenli ve sürdürülebilir bir enerji geleceği sunmasını destekleyecektir. Bu sayede, enerji tüketimini en iyi seviyeye getirme, enerji kaynaklarını daha etkin kullanma ve karbon salınımını azaltma imkanı ortaya çıkacaktır.

KAYNAKÇA

[1] <https://www.powermag.com/history-of-power-the-evolution-of-the-electric-generation-industry/>

[2] <https://edisontechcenter.org/HistElectPowTrans.html>

[3] Smart grids in Latin America and the Caribbean, Michele De Nigris Manlio F. Coviello, Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC), LC/W.486, United Nations, July 2012, Santiago, Chile.

[4] 2015 International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies (ICSGCE).

[5] <https://www.smart-energy.com/top-stories/smart-grid-environmental-benefits/>

[6] State Estimation in Electric Power Grids: Meeting New Challenges Presented by the Requirements of the Future Grid, Yih-Fang Huang; Stefan Werner; Jing Huang; Neelabh Kashyap; Vijay Gupta, IEEE Signal Processing Magazine (Volume: 29, Issue: 5, September 2012), Page(s): 33 – 43, 22 August 2012

POMPALI DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SANTRALLAR

Muzaffer Başaran

MMO İstanbul Şube, Enerji Komisyonu
mbasaran1952@gmail.com

ÖZET

Pompalı Depolamalı Hidroelektrik Santrallar (PDHES) farklı kotlarda yer alan alt ve üst olmak üzere iki rezervuardan oluşur. Elektrik Enerjisi tüketiminin düşük olduğu gece saatlerinde alt rezervuardaki su üst rezervuara pompalanarak depolanır. Tüketimin yüksek olduğu puant saatlerde üst rezervuarda depolanan su alt rezervuara bırakılarak elektrik enerjisi üretilir.

Pompalı Depolamalı Hidroelektrik Santrallarda aynı mekanik ekipman su yukarı gönderilirken pompa ve aşağı gönderilirken türbin, ona bağlı elektrik ekipmanı da su yukarı pompalanırken elektrik motoru, su aşağıya doğru akarken jeneratör olarak görev yapar.

Pompalı depolamanın bilinen ilk tesisi 1909 yılında İsviçre'nin Schaffhausen şehrinde kurulan 1500 kW kapasiteli Schaffhausen PDHES'dir.

Dünya'da PDHES'ler yaygın olmakla birlikte Türkiye'de henüz kurulmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidroelektrik, Pompalı Depolamalı

SUMMARY

Pump Storage Hydroelectric Power Plants (PSHPP) consists of two reservoirs at different elevations. When the demand is low at night hours, water is pumped from lower reservoir to higher reservoir. When the demand is high at peak hours, water is released from higher reservoir to lower elevation while producing electricity.

At Pump Storage Hydroelectric Power Plants, the same equipment serves as pump and electric motor while sending water from lower reservoir to higher reservoir and serves as turbine and generator when water is going down.

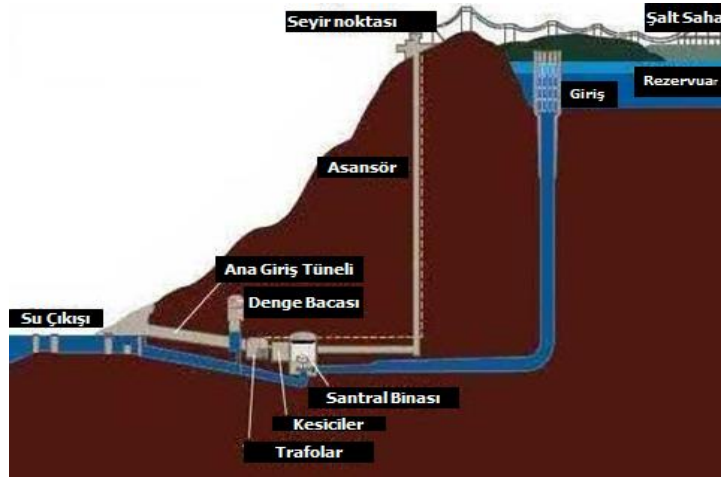
The first PSHPP was built in Schaffhausen in Switzerland in 1909 and the capacity was 1500 kW.

Although PSHPP is widely used in the World, it was not built in Türkiye.

Key Words: Hydroelectric, Pump Storage

1. Pompalı Depolamalı HES nedir?

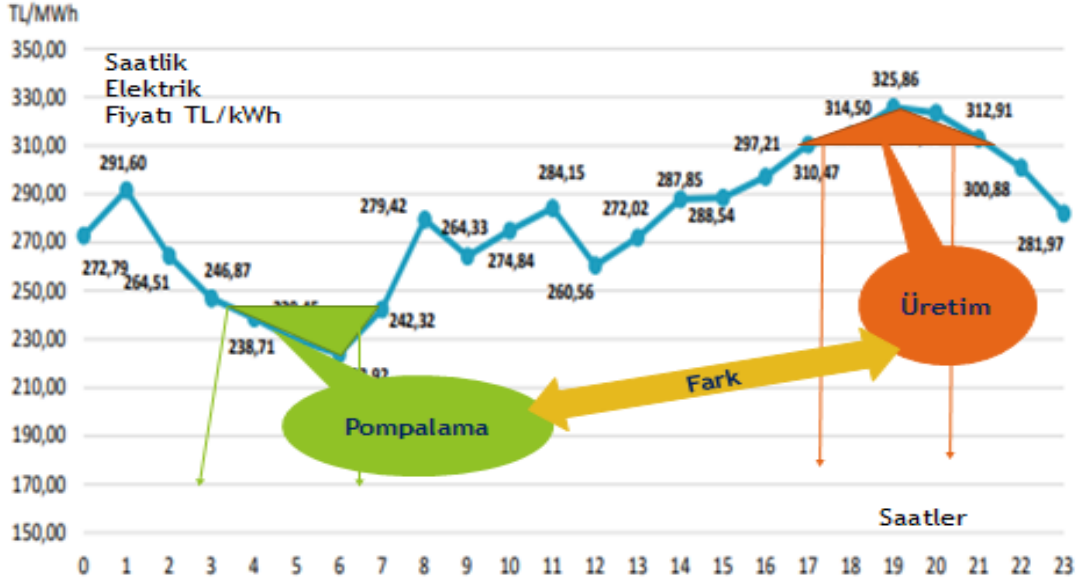
Pompalı Depolamalı Hidroelektrik Santrallar şekil 1'de görüldüğü gibi farklı kotlarda yer alan alt ve üst olmak üzere iki rezervuardan oluşur. Elektrik Enerjisi tüketiminin düşük olduğu gece saatlerinde alt rezervuardaki su üst rezervuara pompalanarak depolanır. (Erdinç S. 119). Tüketimin yüksek olduğu puant saatlerde üst rezervuarda depolanan su alt rezervuara bırakılarak elektrik enerjisi üretilir.



Şekil 1: Pompalı Depolamalı HES Şeması

Pompalı Depolamalı Hidroelektrik Santrallarda aynı mekanik ekipman su yukarı gönderilirken pompa ve aşağı gönderilirken türbin, ona bağlı elektrik ekipmanı da su yukarı pompalanırken elektrik motoru, su aşağıya doğru akarken jeneratör olarak görev yapar.

Şekil 2'de saatlik elektrik fiyatlarına göre PDHES işletmesi gösterilmektedir.



Şekil 2. Saatlik Elektrik fiyatlarına göre PDHES işletmesi

2. Pompaj Depolamalı HES Tariçesi:

Pompaj depolamanın bilinen ilk kavramsal gösterimi, 1882'de İsviçre'nin Zürih kentinde enerji depolaması için pistonlu bir pompadır. İlk tesis ise; 1909 yılında İsviçre'nin Schaffhausen şehrinde kurulan 1500 kW kapasiteli Schaffhausen PDHES'dir.



Şekil 3. Schaffhausen PDHES – İsviçre



Şekil 4. Rocky River PDHES – ABD

1928'de Almanya'nın Dresden kenti yakınlarında 20 MW'ın üzerindeki ilk tesis ve 1929'da kuzey Amerika Connecticut'taki Candlewood gölünde kurulan Rocky River pompaj depolamalı tesisler ilk projeler arasında yer aldı. (TESAB, S. 34).

Dünyada pompaj depolamalı santrallerin çoğu 1960 -1990 yılları arasında kuruldu. 1970'lerin başındaki petrol krizlerinden sonra nükleer enerji santrallerinin ve büyük güçlerdeki termik santrallerin kurulması ile pompaj depolamalı tesislerin kurulumu da hız kazandı. PDHES, yüksek yük talebinde enerji sağlamak ve düşük yük talep süresi boyunca baz yük santrallerin birimlerinin temel yük modunda çalışmasını sağlayan sistem olarak kullanıldı. Bununla birlikte,

zengin hidro enerjiye sahip ülkelerde, PDHES, büyük ölçekli hidroelektrik santrallerin faaliyetlerini ve verimliliğini artırmak için geliştirildi. (Göktaş, S. 83-84)

2. PDHES Avantaj ve Dezavantajları

3.1. PDHES Avantajları

- Enerjinin depolanabilmesi ve ihtiyaç duyulduğunda hızlı bir biçimde devreye alınabilmesi üretimde süreklilik için önemli bir gerekliliktir. Enerji depolanmasının en popüler yolu, günümüz teknolojisi göz önüne alındığında PDHES'lerin kullanımınıdır. Avantajları şöyle sıralanabilir:
- Puant saatlerinde maksimum yükün ekonomik olarak karşılanabilmesine olanak sağlamak,
- Şebekedeki aşırı yük ve dengesizliklerin önlenmesi,
- Sistem minimum yükünü artırabilme,
- Tersiyer yedek kapasite tutabilme,
- Gerilim ve güç faktörünün düzeltilmesi,
- Oturan sistemin toparlanması sırasında sisteme katkı verebilme,
- Frekans regülasyonuna katılabilme,
- Güneş ve rüzgardan elde edilen büyük miktarlardaki enerjinin depolanması için bir alternatif teşkil etmek,
- Sistem kayıplarının azaltılmasına destek sağlayabilme,
- Kararlı işleme katkı verebilme,
- Büyük kapasiteli santrallerin (Termik, Nükleer) devre dışı kalmaları veya kolay durdurulamama durumunda yedek güç teşkil etme. (Ünver, S. 63).
- Güvenli bir güç kontrol sistemi tesis etmek,
- PDHES'lerin çevreye etkisi olumludur. Boşa akıp giden suların depolanması sayesinde su teminine ve buharlaşma etkisi ile çevreye pozitif etki yapmaktadır.

3.2. PDHES dezavantajları

- PDHES'lerin ilk yatırım maliyetleri yüksek ve geri ödeme süresi uzun olmaktadır.
- PDHES'lerin kurulması için jeolojik konum önem arz etmektedir. (Ünver, Bilgin, Güven, S. 63-64).
- Santralin kurulacağı bölgede erozyon olasılığı dezavantaj olarak görülmektedir.
- Deniz suyu kullanan pompaj depolamalı sistemlerde ekoloji olumsuz etkilenebilmektedir.
- PDHES'lerin rezervuarları arasındaki ulaşım sorunu da dezavantajlar oluşturmaktadır.

4. PDHES'lerin Dünyadaki Durumu

PHES'lerin dünyadaki durumuna bakıldığında; toplam kurulu pompalı depolama hidroelektrik kapasitesinin 2021'de 164,76 GW'tir. (IHA 2022, S. 47). Bu teknolojiye olan ilginin yeniden canlanmasının bir sonucu olarak, pompalanan hidroelektrik depolama kapasitesinin 2030 yılına kadar yaklaşık yüzde 50 artarak 240 GW'a çıkacağı tahmin ediyor.

Tablo 1: Dünyada PDHES'lerde en öndeki ülkeler (2021)

No	Ülke	Kurulu Güç (GW)
1	Çin	36,00
2	Japonya	27,47
3	A. B. D.	21,91
4	İtalya	7,69
5	Almanya	6,20
6	İspanya	6,12
7	Fransa	5,84
8	Avusturya	5,60
9	G. Kore	4,79
10	Hindistan	4,75
	Geri Kalan	38,39
	Toplam	164,76

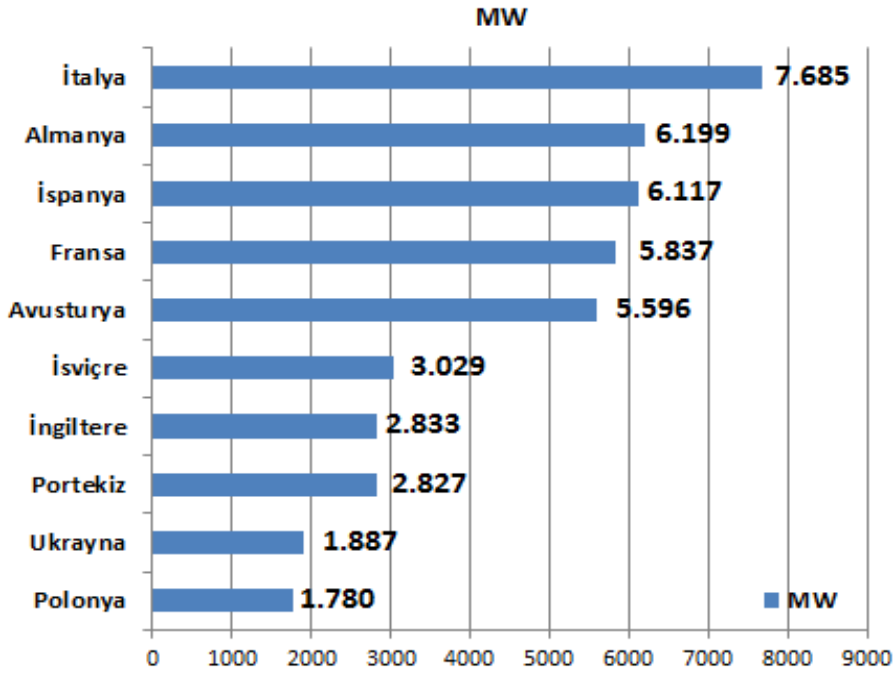
Avustralian National University (ANU) bünyesinde oluşturulan RE100 çalışma grubu dünya genelindeki pompalı hidroelektrik depolama alanlarını coğrafi bilgi sistemleri analizi yardımıyla haritalandırmaktadır. Güncel verilere göre

dünya genelinde 616 binden fazla potansiyel PHES depolama alanı bulunmaktadır. Bu bölgelerin toplam depolama kapasitesi ise 23 milyon GWh olarak hesaplanmıştır.

Dünyadaki PDHES'lerin sayısı, artan nükleer santrallerin sayısı ile birlikte, 1960 ila 1990 yılları arasında hızla artmıştır. PHES kurulu kapasite bakımından incelendiğinde, 36 GW'lık kurulu gücü ile Çin ilk sırada, 27,47 GW'lık kurulu güç ile Japonya ikinci sırada, 21,91 GW'lık kurulu güç ile ABD üçüncü sırada yer almaktadır.

4.1. Avrupa'da Durum

2011'in başlarında, Avrupa'da toplam kapasitesi yaklaşık 45 GW olan yaklaşık 170 pompalı depolama tesisi faaliyet gösteriyordu. Avrupa'da kurulu pompalı depolama kapasitesinin yaklaşık %75'i sekiz ülkede yoğunlaşmıştır ve bunun yarısından fazlası dört ülkede bulunmaktadır: İtalya, Almanya, Fransa ve İspanya. Bunun nedeni, en büyük Avrupa enerji endüstrilerinin elektrik depolamak için en büyük kapasitelere ihtiyaç duymasındır. Birleşik Krallık bu eğilimin tek istisnasıdır. Nüfus ve enerji endüstrisinin boyutu açısından, ülke nispeten küçük pompalı depolama kapasitesine sahiptir. Bu, büyük ölçüde mevcut tesislerin yapısından kaynaklanmaktadır: yaklaşık% 40'ı, diğer termik santrallerden çok daha esnek bir şekilde kullanılabilen gazla çalışan tesislerdir. Bu nedenle, İngiltere'nin yalnızca küçük depolama kapasitelerine ihtiyacı vardır.



Şekil 5. Avrupa'da kurulu PHES kapasitesi 2021 (MW) (IHA 2022, S. 47).

Avrupa genelinde bir pompalı depolama tesisinin ortalama kapasitesi yaklaşık 300 MW'tır. En büyük santraller, aynı zamanda en fazla toplam pompalı depolama kapasitesine sahip ülkelerdedir. Yine, İngiltere farklıdır: birkaç pompalı depolama tesisi vardır, ancak bunlar Avrupa'nın en büyükleri arasındadır. Avrupa pompalı depolama tesisleri ortalama olarak 30 yıldan daha eskidir. Bunların üçte ikisi 1970 ile 1990 yılları arasında inşa edilmiştir. En eski pompalı depolama tesisleri Almanya ve İsviçre'de bulunmaktadır.

Düşük kapasiteye sahip ülkelerdeki pompalı depolama tesislerinin daha genç olma eğiliminde olması dikkat çekicidir. Bu, çok daha sonra ve daha yavaş bir hızda gelişmeye başladıkları için ilgili ulusal enerji endüstrileri tarafından açıklanabilir. Pompalı depolama tesisleri ancak daha büyük enerji santralleri inşa edildiğinde gerekli hale gelmiştir. 1970 ile 1990 yılları arasında fosil ve nükleer santrallerin fazla elektriğini hafif yük zamanlarında çekmek ve pik yük zamanlarında yeterli miktarda elektrik sağlamak için tesislere ihtiyaç duyulduğu için pompalı depolama tesislerinin inşasında patlama meydana gelmiştir. 1980'lerin sonunda yeterli pompalı depolama kapasitesi geliştirildikten sonra, birkaç yeni tesis inşa edilmiş ve 1990 ve 2010 yılları arasında Avrupa'da toplam 5,6 GW kapasiteli sadece 15 santral inşa edilmiştir.

4.1.1. Almanya, Avusturya ve İsviçre

2010 yılında gelecek on yıl için, Avrupa'da hem sayı hem de kurulu kapasite açısından diğer on yılda olduğundan daha fazla pompalı depolama tesisi inşa edileceği tahmin edilmiştir. Bu yıllarda Avrupa'daki yeni pompalı depolama tesislerinin çoğu Almanya, Avusturya ve İsviçre'de inşa edilmiştir. Almanya'daki faaliyetler esas olarak mevcut tesislerin genişletilmesinden oluşmuş olup, Avusturya ve İsviçre'de ise yeni tesisler inşa edilmiştir. Bunun nedeni, Almanya'da

uygun doğal ön koşullara sahip neredeyse tüm konumların hali hazırda pompalı depolama için kullanılıyor olmasıdır. Almanya'daki en büyük iki pompalı depolama tesisi, Thüringen'de 1.060 MW'lık Goldisthal ve Saksonya'da 1.050 MW'lık Markersbach'tır. Beş pompalı depolama tesisinden oluşan Baden-Wurtemberg'deki Schluchseewerk kompleksi, yaklaşık 1.800 MW kapasiteye sahiptir.



Şekil 6. Goldisthal PDHES -Almanya

İsviçre'deki en büyük pompalı depolama tesislerinden biri 1.000 MW'lık Limmern'dir. Aynı bölgede bulunan Tierfehd pompalı depolama tesisi kapasitesi ise 140 MW'dır. 2021 yılı itibarı Avusturya'nın Pompaj depolama kurulu gücü 5.596 MW, Almanya'nın Pompaj depolama kurulu gücü 6.199 MW ve İsviçre'nin kurulu gücü ise 3.029 MW'tır.

4.1.2. Güney Avrupa

İspanya ve Portekiz, Güney Avrupa'da pompalı depolama için en dinamik pazarlardır. Hali hazırda Avrupa'nın en büyük depolama ve pompalı depolama tesislerine sahip İspanya, önümüzdeki 10 yıl içinde pompalı depolama sektöründe en fazla kapasite artışı inşa edeceği öngörülmektedir. İtalya, Avrupa'nın en yüksek kurulu pompalı depolama kapasitesine sahiptir. 2021 itibarıyla, ülke genelinde yaklaşık 7.685 MW kurulmuştur. Güney Avrupa'da onu 6.117 MW'la pompalı depolama kapasitesiyle İspanya izlemektedir.



Şekil 7. Entracque PDHES– İtalya



Şekil 8. Cortes-La Muela PDHES – İspanya

4.1.3. İskandinavya

İskandinav ülkeleri, enerji ekonomileri için pompalı depolama tesislerine ihtiyaç duymamıştır, çünkü şebeke, rezervuarlı geleneksel hidroelektrik santrallerindeki türbinleri açıp kapatarak yeterince dengelenmektedir. Ancak, batılı sanayi ülkelerinden gelen elektriği depolamak için pompalı depolama tesisleri kullanma planları vardır. Bunun bir adımı olarak, NordLink projesi ile Norveç ve Almanya arasında şebeke bağlantısını sağlamak üzere, 500 kV 500 km'den uzun bir kablo ile deniz altı 1.400 MW HVDC güç kablosunun testleri devam etmekte olup, 2021'de tam olarak çalışması beklenmektedir. Daha küçük güç kapasitelerine sahip diğer iletim kabloları, Hollanda ile Norveç arasında ve Danimarka ile Norveç arasında hali hazırda kullanılmaktadır. İskandinavya'daki yeni pompalı depolama tesislerinin çoğu Norveç'te

inşa edilmesi beklenmektedir. Norveç'te yeni pompalı depolama tesisleri mevcut depolama tesislerinin genişletilmesi şeklinde olması öngörülmektedir.

4.1.4. İngiltere, Fransa

Birleşik Krallık'ta, Ffestiniog pompalı depolama tesisinin yenilenmesi devam ediyor ve İrlanda'nın yanı sıra Birleşik Krallık'ta da pompaj depolama tesislerinin yenilenmesi planlanmaktadır. Norveç'i sırasıyla İngiltere ve Almanya'ya bağlayarak yenilenebilir elektrik ticaretini mümkün kılan Kuzey Deniz Bağlantısı ve NordLink'in yapımında kilometre taşlarına ulaşılmıştır.

Fransa'daki La Coche pompalı depolama istasyonunda yeni bir 240 MW Pelton türbini işletmeye alınarak eski ünitelerin yerini almış ve tesisin kapasitesi yüzde 20 artırılmıştır.



Şekil 9. Dinorwig PDHES – İngiltere

4.1.5. Doğu Avrupa

Doğu Avrupa'daki paradigma Batı Avrupa ülkelerinden farklıdır. Rüzgar ve güneş enerjisi yalnızca küçük bir rol oynamaktadır. Düşük kapasiteli ülkelerde yeni pompalı depolama tesisleri inşa edilmektedir. Örneğin, fosil ve nükleer santrallerden elektrik çekmek için pompalı depolama tesislerine ihtiyaç duyan ülkeler: Romanya, Litvanya, Letonya, Estonya, Slovenya ve Macaristan'dır. Bu gelişme, Batı Avrupa ülkelerindeki 1970'ler ve 1980'lerdeki inşaat patlamasıyla karşılaştırılabilir.



Şekil 10. Kruonis PDHES – Litvanya



Şekil 11. Dniester PDHES – Ukrayna

Polonya ve Çek Cumhuriyeti'ndeki gelişmiş ekonomiler bu aşamayı çoktan tamamladı ve bu ülkelerde yeni bir pompalı depolama tesisi kurulması planlanmamaktadır. Avrupa istatistikleri (EUROSTAT), Romanya'nın birkaç yıl öncesine kadar pompalı depolama tesisleri (PSP'ler) olmayan bir ülke olarak kabul edildiğini göstermekteydi. Ancak şu anda, Romanya hidroelektrik geliştirme portföyü dahilinde Hidroelectrica tarafından işletilen beş pompalı depolama tesisinde toplam 91,5 MW kurulu güce sahip olduğu görülmektedir.

4.2. Japonya, Çin, Hindistan'da Durum

Dünyada PHES kapasitesi açısından ilk sırada olan Çin, Hebei Eyaletinde yapımı devam eden Fengning pompalı depolama elektrik santralının kurulması ile birlikte aynı zamanda dünyanın en büyük pompalı depolamalı hidroelektrik santralına da sahip olacaktır. 2023 yılında 2. ve son aşamasının devreye alınması planlanan santral, 3,600 MW kurulu güce sahip olacaktır.



Şekil 12. Fengning PDHES - Çin



Şekil 13. Guangdong PDHES - Çin

Büyük Doğu Japonya Depremi'nin ardından 2011 yılında Fukushima Daiichi santralında meydana gelen nükleer kazadan sonra Nükleer santralların kısmen kapatılması ve özellikle değişken yenilenebilir enerjinin negatif etkilerinin minimize edilmesi sebebiyle Japonya'da PHES'lere öncelik verilmiştir. Bu sayede Japonya, bu alanda dünyada kurulu güç bakımından hızla 2. sıraya çıkmasını sağlamıştır.



Şekil 14. Imaichi PDHES-Japonya

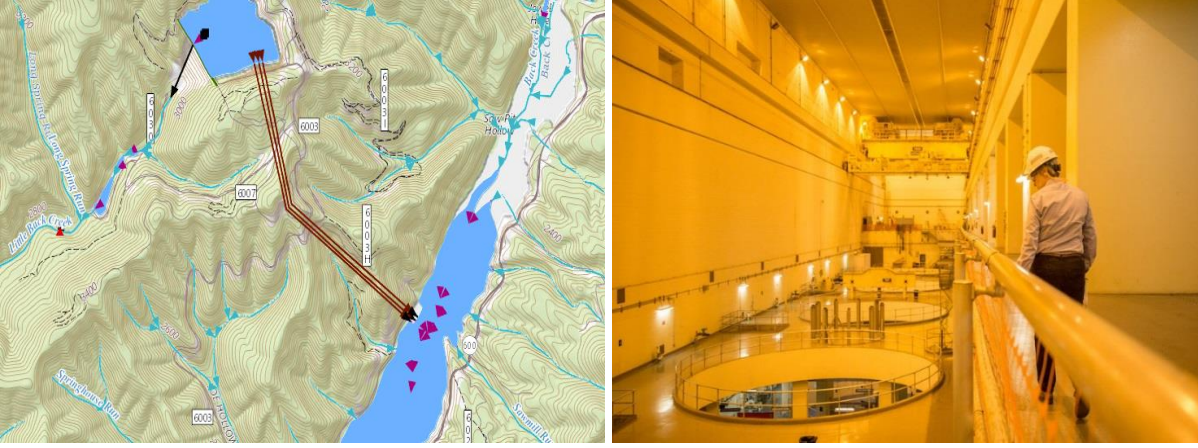


Şekil 15. Okutataragi Kurokawa PDHES – Japonya

Hindistan'ın yüksek hidroelektrik kapasitesine rağmen toplam gücünün %2'lik kısmı PHES'lerden karşılanmaktadır. En büyük tesisi Sardar Sarovar barajı olup kurulu gücü 1.450 MW'tır.

4.3. ABD'de Durum

Dünyanın en büyük PDHES'i olan Bath County PHES (1985 / 3,003 MW)' e sahip olmasının yanında, 2010 yılında dünyadaki PHES kapasitesinin %20,6 sına denk gelen 21,5 GW'lık bir PDHES kapasitesine sahipti. Buna rağmen, bu yıllarda PHES'ler ile üretilen enerji, tüketilen enerjiden düşüktü. Bu sebeple; 2014'ün sonlarından itibaren, ABD'deki yeni pompaj depolama hidroelektrik santralları için FERC lisanslama sürecinin tüm aşamalarında toplam 39 GW kapasiteye sahip 51 aktif proje teklifi vardı. Fakat şu an yapım aşamasında 1000 MW ve üzeri PHES yoktur.



Şekil 16. Bath County PDHES – ABD

PHES'ler gelişmiş ülkelerin yanı sıra gelişmekte olan ülkelerde de planlanmakta ve işletmede olduklarını görüyoruz. Bu duruma en iyi örnek komşumuz İran'da şu sıralarda işletmeye girecek olan 1.040 MW kurulu güçteki Siah Bishe PHES'dir

Dünya'daki en büyük PDHES'ler aşağıda listelenmiştir

Tablo 2: Dünyada en büyük PDHES'ler (TESAB, S. 66)

No	Santral	Ülke	Güç (MW)
1	Bath Country	ABD	3.003 MW
2	Huizhou	Çin	2.448 MW
3	Guangdong	Çin	2.400 MW
4	Okutaragi	Japonya	1.932 MW
5	Ludington	ABD	1.872 MW
6	Tianhuangping	Çin	1.836 MW
7	Grand'Maison	Fransa	1.800 MW
8	La Muela	İspanya	1.772 MW
9	Dinorwig	İngiltere	1.728 MW
10	Raccon Mountain	ABD	1.652 MW

5. Açık Deniz PHES

Açık deniz rüzgâr üretimindeki güçlü dalgalanmalar sırasında iletim kayıplarını ve şebeke bozulmalarını en aza indirmek ve 2 ayrı rezervuar yapmak yerine tek bir rezervuar inşa ederek diğer rezervuarı deniz olarak kullanmak amacı ile yapılmaktadır. Bu tip bir elektrik santralının mimarisi, alt rezervuar olarak deniz ve bir üst rezervuar da karada bulunur. Karadaki bir PDHES'ninkiyle aynıdır. Santral bir uçurumun eteğine veya yeraltına kurulabilir. Burada Dünya'dan iki örnek sunulacaktır.

5.1. Okinawa Deniz Pompaj Depolamalı HES

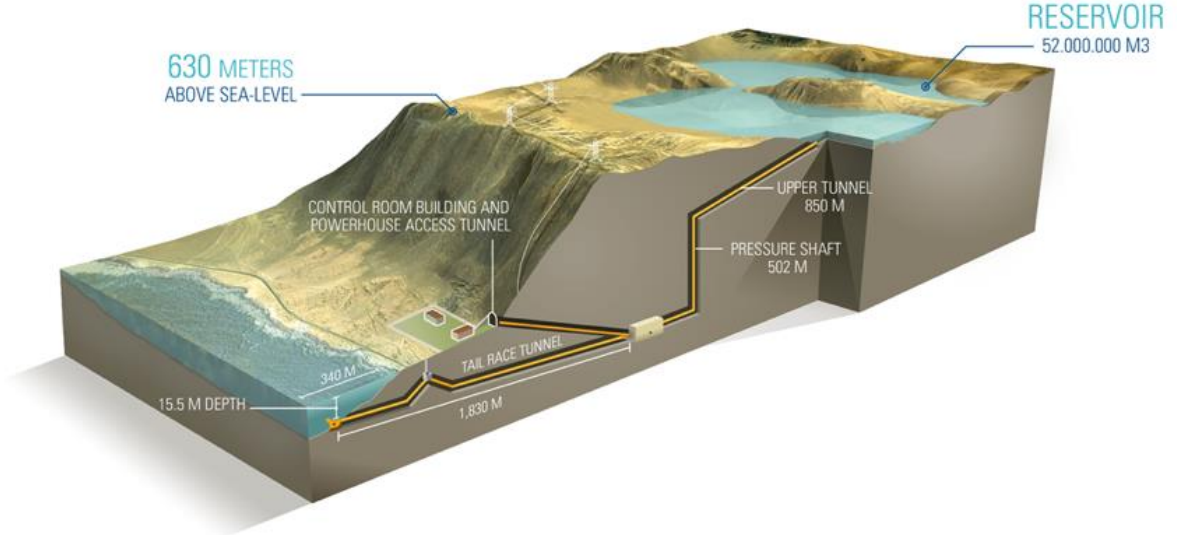
Dünyada ilk örneği Japonya'da Oninawa adasının kuzey tarafında kurulan Okinawa PDHES projesidir. Japonya nehirler üzerinde çok sayıda PDHES projesinin yapılması ile coğrafi ve jeolojik olarak uygun alanların azalması ve çevre kriterlerini de dikkate alarak deniz PDHES'in kıyı şeridi boyunca rüzgâr çiftliklerine mümkün olduğunca yakın kurulduğu görülmektedir. Japonya Uluslararası Ticaret ve Endüstri Bakanlığı tarafından başlatılan çalışma Elektrik Power development Co. Lmt. (J-Power) tarafından 1981 yılında fizibilite çalışması başlatılmıştır. 1981-1991 yılları arasında yürütülen çalışmada projeye ilişkin deniz suyu kullanımından kaynaklanan teknik sorunlar, çevre etkileri, çamurlu su çıkışının önlenmesi, ağır iş makinalarının çalışmasından kaynaklanan gürültü ve titreşimin minimum boyuta indirilmesi, üst rezervuardan kaynaklanan bertaraf alanının restorasyonu ve yeniden ağaçlandırılması ve biyotop oluşturulması, yamaçlarda yeni hendek açılması gibi pek çok kriter değerlendirilmiş, ayrıca jeolojik, hidrojeolojik etüdler yapılarak yerel uzman ve konunun uzmanlarından oluşturulan özel bir komisyon tarafından incelenmiştir. Dünyadaki bu konudaki ilk uygulama olan projenin inşaatına bu çalışmaların tamamlanması sonrası 1991 yılında başlanmış ve 1999 yılında işletmeye alınmıştır. 30 MW gücündeki bu türünün ilk PDHES projesinde üst rezervuar deniz seviyesinden yaklaşık 150 m. yüksekte ve 600 metre mesafededir. Cebri borular, türbin ve diğer teknik teçhizatın gömülü olarak inşaa edildiği projede üst rezervuarın tuzlu deniz suyundan minimum etkilenmesi için özel yöntemlerle kaplanmıştır. Deniz suyu PDHES teknolojisinin geliştirilmesi amacı ile 1999 yılından buyana her 5 yılda bir proje özel olarak değerlendirilmekte ve çeşitli testler yapılmaktadır.



Şekil 17. Okinawa Deniz Pompaj Depolamalı HES – Japonya (TESAB S. 68)

5.2. Valhalla Deniz Pompaj Depolamalı HES

Şili’de Atacama çölünde 600 MW güneş santrali ve 600 MW Valhalla PDHES projesinden oluşan hibrit bir santraldır. Projenin inşasına 2017 yılında başlanmıştır. Projede Atacama Çölü’nde güneş panelleri kurulması ve güneş enerjisi üretimi ile çölün okyanus kıyısında yer alan coğrafi özelliklerinden yararlanılmıştır. Neredeyse hiç yağmur olmayan çölde kurulu hibrit tesis okyanusa yakın konumlanmış, doğal yüzey oyukları içeren yüksek bir kıyı uçurumu ile ayırt edilen bir alan kullanarak deniz suyunun depolanması için doğal uçurumun üst bölümü kullanılmaktadır. Bu özellikleri ile çevresel etki minimuma indirilmiş, ayrıca yatırım tutarı da diğer konvansiyonel santrallara göre daha düşüktür.



Şekil 18. Valhalla PDHES – Şili

6. Türkiye’de PHES Çalışmaları

6.1 Geliştirilen Projeler

Türkiye’de EİE Genel Müdürlüğü tarafından pompaj depolamalı santral çalışmalarına ilk kez 2005 yılında başlanmıştır. Bu maksatla, çeşitli seviyelerde proje çalışmaları yapılmış ve 17 adet ilk etüt seviyesinde pompalı depolamalı hidroelektrik santral raporu hazırlanmıştır. Tablo 3’te bu projeler gösterilmektedir.

Tablo 3. Türkiye’de PDHES Projeleri

Proje Adı	Yeri	Güç (MW)	Debisi (m ³ /s)	Düşü (m)
Kargı PDHES	Ankara	1000	238	496
Sarıyar PDHES	Ankara	1000	270	434
Gökçekaya PDHES	Eskişehir	1400	193	962
İznic 1 PDHES	Bursa	1500	687	255
İznic 2 PDHES	Bursa	500	221	263
Yalova PDHES	Yalova	500	147	400
Demirköprü PDHES	Manisa	300	166	213
Adıgüzel PDHES	Denizli	1000	484	242
Burdur Gölü PDHES	Burdur	1000	316	370
Eğirdir Gölü PDHES	Isparta	1000	175	672
Karacaören 2 PDHES	Burdur	1000	190	615
Oymapınar PDHES	Antalya	500	156	372
Aslantaş PDHES	Osmaniye	500	379	154
Bayramhacılı PDHES	Kayseri	1000	720	161
Yamula PDHES	Kayseri	500	228	260
Hasan Uğurlu PDHES	Samsun	1000	204	570

2011 yılında sonuçlanan “Türkiye Pik Talebin Karşılanması İçin Optimal Güç Üretimi” Projesinde devreye alınması düşünülen pompalı depolamalı hidroelektrik santrallerin kapasiteleri ve devreye alma sürelerinin tahmini amaçlanmıştır. Çalışmada, Türkiye için 2010-2030 yılları arasındaki pik güç üretim planı da incelenmiştir. Türkiye için potansiyel pompalı depolamalı hidroelektrik santral yerleri, talebin yoğun olduğu bölgeler, jeolojik, topografik ve çevresel kısıtları da içeren kriterler açısından araştırılmıştır. Kademeli eleme sonucunda, alt rezervuarları Gökçekaya Barajı ve hidroelektrik santral olan Gökçekaya Pompalı Depolamalı HES (1400 MW) ve Altınkaya Pompalı Depolamalı HES’in (1800 MW) kavramsal tasarımı yapılmıştır. 12 Şubat 2014 tarihinde de resmi olarak Gökçekaya PDHES fizibilite çalışmaları başlamıştır. (A. A. Sertkaya, S. 382).



Şekil 19. Türkiye’de PDHES Projelerinin yerleri

6.2 Çalışmalarda Kilometre Taşları

Ülkemizdeki PDHES Çalışmaları ilk olarak Mülga Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından başlatılmıştır. Tablo 4’te PDHES’ler konusunda yapılan çalışmaların kilometre taşları bulunmaktadır.

Tablo 4. Ülkemizde Yapılan PDHES Çalışmalarının Kilometre Taşları

Yıllar	Pompalı Depolamalı Hidroelektrik Santral Çalışmaları
1969	Mülga Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) Genel Müdürlüğü’ndeki İlk Pompalı Depolamalı HES (PDHES) Etüdü Mart 1969’da tamamlandı.
2005	Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) ile ilk teknik destek talebi görüşmeleri yapıldı.
2007	Resmi Olarak ilk Pompalı Depolamalı HES Teknik İşbirliği başvurusu yapıldı.
2009	EİE kendi imkanlarıyla 18 Adet PDHES Ön Etüdünü tamamladı.
2010	JICA Teknik İşbirliği kapsamında TEİAŞ Genel Müdürlüğü ile birlikte Türkiye Pik Güç Talebinin Karşılanması için Optimal Güç Üretimi Çalışması başladı.
2011	Türkiye’nin ilk PDHES Master Plan Etüdü olarak kabul edilebilecek bu çalışma tamamlandı. Bu çalışma içinde PDHES’lerin hayata geçirilmesi için Model Önerileri de bulunmaktadır. Çalışma kapsamında 3 PDHES Projesine öncelik verildi. Mülga EİE tarafından JICA ile bu projelerin fizibilite seviyesinde çalışılması için teknik destek talebi yapıldı.
2014	JICA Teknik İşbirliği kapsamında DSİ Genel Müdürlüğü tarafından YEGM-TEİAŞ-EÜAŞ İşbirliği ile Gökçekaya PDHES Fizibilite Çalışması başladı.
2016	Gökçekaya PDHES Fizibilite Çalışması tamamlandı.
2017	“PDHES’lerin Ülkemiz Enerji Sektöründeki Yerinin Netleştirilmesine Yönelik Düzenlemelerin ve İzlenecek Yöntemin ve Modelin Belirlenmesinde Fayda Sağlayacak



	Yol Haritasının Oluşturulması” çalışmaları Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü, Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü katılımı ile başladı.
2018	PDHES Yol Haritası Çalışmayı yapılarak kamu ve özel sektör PDHES ile ilgili görüş ve önerileri dinlendi.
2020	PDHES’in kurulması EÜAŞ’ın yatırım programında yer aldı.

7. Sonuç

Günümüze baktığımızda her alanda enerji depolama kritik bir unsurdur. Bu durumun Enerji konusunda ne kadar önemli olduğu aşikar olmakla birlikte; fosil yakıtların günü gelince tükeneyeceği ve ülkemiz adına da yenilenebilir ve depolamalı santrallerin milli ve sürdürülebilir kaynaklar olacağı görülmektedir. Enerjinin arz ve talebinde etkin olarak kullanılabilen olan PDHES’ler, Nükleer Enerjinin enerji arz kaynaklarımızın arasına dahil edilmesi ile etken bir rol oynayacaktır. Enterkonnekte sistemde Avrupa ve Asya ile kilit bir bağlantı noktasında olan ülkemizin frekans regülasyonuna ciddi bir katkı sunacaktır. Ülkemizde yer alan yüksek gerilim iletim hatlarında şebeke gerilim kontrolünü sağlayıp, şebekedeki aşırı yük ve dengesizliklerin önlenmesinde yer alacak PDHES’ler depolama konusunda sadece temiz bir çevre için değil , kaliteli elektrik konusunda da başrol olacaktır. Büyük kapasiteli santrallerin (termik, nükleer) devre dışı kalmaları veya kolay durdurulamama durumları söz konusu olduğunda yedek güç olarak planlanması ile hızlı cevap verebilen bir santral olacaktır. Ayrıca hidrolik potansiyelimizin tamamının etkin ve verimli olarak kullanabilmede çok önemli katkı sağlayacaktır. Yapıldığında yüksek güce sahip olacak PDHES’ler ülkemizin enerji alanındaki dışa bağımlılığını azaltarak cari açığın azaltılmasında büyük faktör olacaktır. Enerji Diplomasisi kapsamında ülkemizde sağlanacak teşvik ve destekler ile birlikte elektromekanik teçhizatların yerli üretilmesi durumunda yerel sanayinin gelişmesine fayda sağlayacak ayrıca ihracat konusunda yerli ve milli bir pazar olabileme imkanına sahip olmamıza yol açacaktır.

8. Kaynaklar

1. Erdinç O., Uzunoğlu M., Vural B. Hibrit Alternatif Enerji Sistemlerinde Kullanılan Enerji Depolama Üniteleri, Elektrik Elektronik Bilgisayar Sempozyumu, Ekim 2011.
2. TESAB, Enerji Depolama Teknolojileri ve Pompaj Depolamalı HES Projeleri, Ankara, Ekim 2022.
3. Göktaş Hasan Ali, Türkiye için Pompaj Depolama Hidroelektrik Santrallerin Önemi ve Durum Analizi, Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Master Tezi, 2018.
4. Ünver Ümit, Bilgin Hilal, Güven Alpaslan, Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Sistemler, Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 663, 2015.
5. IHA International Hydropower Association 2022 Hydropower Status Report Sector Trends and Insights, Temmuz 2022.
6. A.A. Sertkaya, M. Saraç, M. A. Omar, Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerinin Türkiye İçin Önemi, Gazi Journal of Engineering Sciences, 2015



BATARYALI ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

Mutlu BEKTAŞ

EMO Samsun Şube, Enerji Komisyonu
mutlu.bektas@hotmail.com

ÖZET

İklim değişikliği ile birlikte, karbon emisyonlarının azaltılması amacıyla yenilenebilir enerji payı küresel ölçekte her geçen gün artmaktadır. Artan yenilenebilir enerji santralleri ve özellikle güneş enerjisi ile gündüz saatlerinde üretim fazlalığı, geceleri enerji talebindeki artışlar neticesinde şebekeyi daha esnek hale getirmek, verimliliği artırmak ve karbon emisyonunu azaltmak için Bataryalı Enerji Depolama Sistemleri (BEDS) giderek yaygınlaşmaktadır. Çalışma ile batarya teknolojisi, Lityum-İyon bataryalar, dünyadaki ve Türkiye'deki enerji depolama gelişmeleri ele alınarak; enerjide dağıtık enerji sistemleri ve dekarbonizasyon odağında BEDS'e neden ihtiyaç duyulmaktadır, BEDS nedir? gelişimi, türleri ve uygulamalarından bahsedilecektir. Küresel ölçekte ve Türkiye'deki uygulamaları, regülasyonlar ve BEDS gelişime dair araştırma ve incelemeler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Batarya, Enerji Depolama, Lityum-İyon, Dekarbonizasyon

SUMMARY

With climate change, the share of renewable energy is increasing day by day on a global scale to reduce carbon emissions. Battery-powered Energy Storage Systems (BESS) are becoming more and more widespread to make the grid more flexible, increase efficiency and reduce carbon emissions because of increasing renewable energy plants and especially solar energy and production excess during the daytime and increases in energy demand at night. With the study, battery technology, Lithium-Ion batteries, energy storage developments in the world and in Turkey are discussed; Why is BESS needed in the focus of distributed energy systems and decarbonization in energy, what is BESS? development, types and applications will be mentioned. Research and reviews on the practices, regulations, and BESS development on a global scale and in Turkey are presented.

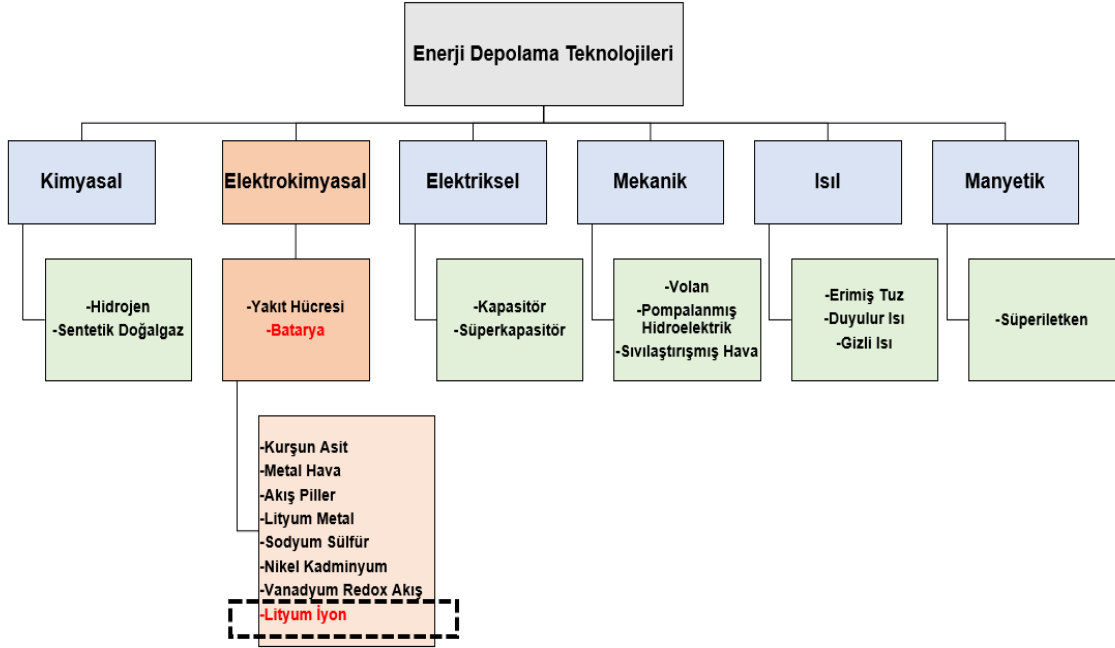
Key Words: Battery, Energy Storage, Lithium-Ion, Decarbonization,

1. Bataryalı Enerji Depolama Sistemleri (BEDS) nedir?

Elektrik enerjisini depolamak ve talep oluştuğunda sisteme geri vermek için gelişmiş kimya teknolojisi olan teknolojik sistemlerdir. Temel mantıkta kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülme prensibine dayalı elektrokimyasal teknolojidir. Elektrot (Katot ve anot) reaksiyonları elektrik akımı oluşturur. Anot-katot arasındaki potansiyel fark bataryanın gerilimini belirler. Elektrotlar üzerinde oluşan elektrik yükü bir elektrottan diğerine akar. Bu akım doğrusal bir akımdır. Enerji depolama sistemi genellikle kapalı konteyner tipinde içerisinde bataryalar, batarya grupları, güç yönetim sistemi, güç dönüştürücü sistemler (trafo, invertör, güç elektroniği vb.), batarya yönetim modülü, iklimlendirme sistemi, yangın önleme sistemi ve enerji yönetim modülü vb. bulunmaktadır.

2. Enerji Depolama Türleri

Bu çalışmada elektrokimyasal teknolojinin altın yer alana batarya teknolojisi olan lityum iyon ele alınacaktır. Şekil-1'den görüldüğü üzere çeşitli enerji depolama teknikleri bulunmaktadır [1]. Elektrokimyasal enerji depolama teknolojileri olarak batarya (pil, akü) ve yakıt hücreleri kullanılmaktadır. Bataryalar (piller); lityum iyon, sodyum sülfür, kurşun-asit, nikel kadmiyum, metal hava ve lityum metal Redox gibi farklı çeşitlerde üretilmektedir. Küresel ölçekte kullanılan pillerin en başında lityum iyon bataryalar olarak bilinmektedir. Lityum iyon piller; enerji depolama kapasitelerinin yüksek, iç dirençlerinin düşük ve verimleri %90'ın üzerinde olması nedeniyle uygulamada yaygın kullanılmaktadır. Teknik olarak, uygun sıcaklık ve maksimum kapasite değerleri göz önünde bulundurularak çalıştırılması gerekir.



Şekil 1 Enerji Depolama Teknolojileri

Elektrik enerjisini depolamak için batarya grupları ile kullanan lityum iyon batarya depolama sistemleri, elektrik şebekelerinde en hızlı yanıt veren dağıtılabilir güç kaynağıdır.

2.1. Bataryalar: Lityum-iyon (Li-ion) bataryalar

Lityum iyon piller eski pil teknolojilerine göre daha fazla gerilim üretebilmektedirler. Zehirli maddeler içermemesi, anlık yüksek güçler verebilmesi ve bilinen gelişmiş enerji yönetim yazılımları ile her geçen gün kullanımı artmaktadır.

2.2. Lityum-iyon (Li-ion) Bataryalar Avantaj-Dezavantajları

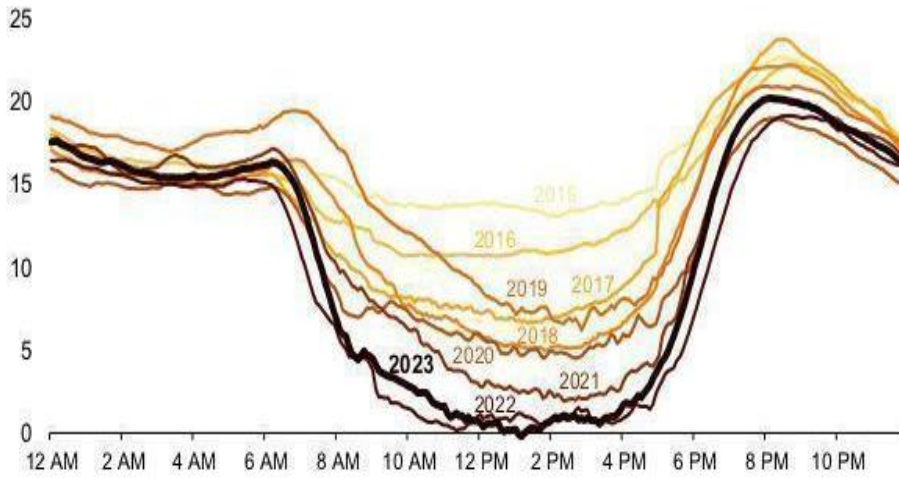
Avantajları	Dezavantajları
<ul style="list-style-type: none">Diğer pillere göre uzun ömürlü bir yapıda olmaları,Yüksek güçlü deşarj kapasitesine sahip olmaları,Yüksek enerji verimi sağlamaları,Hafif, taşınabilir olmalarıKapalı hücre olması,Hafıza etkisinin olmaması,Bilinen teknoloji olması,Gelişmiş yönetim yazılımları olması,	<ul style="list-style-type: none">Fiyatının diğer batarya paketlerine oranla yüksek olması,Yüksek sıcaklıklarda bozulabilmesi,Yangın, patlama riskleri olması,Ömürlerinin, üretim tarihlerinden itibaren başlaması,Anlık güçte başarı iken, uzun süreli enerji sağlayamaması,

3. Dağıtık Enerji ve Küresel Ölçekte Enerji Depolama

Klasik bir elektrik şebekesinde üretim santrallerinden son kullanıcıya kadar elektriğin iletilmesinde tek yönlü bir iletişim varken, günümüzde üretim santrali ile son kullanıcı arasında yenilenebilir enerji kaynakları, elektrikli araç şarj istasyonları, enerji depolama sistemleri, çatı tipi güneş panelleri, kalite ölçüm cihazları, akıllı sayaçlar ve üreten tüketiciler gibi dağıtık yapıda olan bir şebeke oluşmuştur. Bu merkezietten, dağıtık yapıya dönüşümün en başında dağıtık enerji sistemleri gelmektedir.

Dağıtık enerji sistemlerine geçmeden elektriğe olan talebin bir mahalle ölçeğinde eğrisini inceleyelim: Bilindiği üzere günün erken saatlerinde (06:00-08:00) insan faaliyetleri ile elektrik şebekesindeki talep giderek artar. Sonrasında gün içinde aynı miktarda güç çeken cihazlar çalıştırıldığı için talep sabit kalır. Akşam saatlerinde hava karardığında insan hareketi tekrardan artar ve ışıklar açılır. Böylece şebeke üzerindeki talep günün en yüksek seviyesine ulaşır. Gece saatlerinde insanların uyuması ile enerji talebi günün en düşük seviyelerine iner.

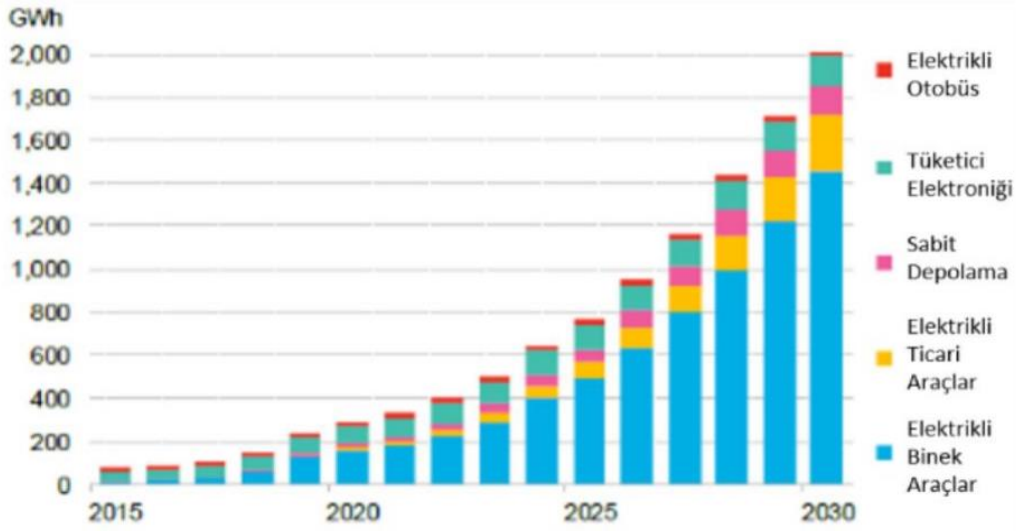
Ancak dağıtık enerji sistemlerinin artması ve özellikle güneş panelleri ile enerji talebini karşılandığında bu yükselme, sabit kalma, zirve ve düşüş eğrisi değişir. Güneş enerjisi çalışma eğrisi ise öğle saatlerinde en yüksek verimi sağlar ve elektriğin çoğunu gün içinde üretir. Bu yüzden gün ortasındaki elektrik talebini fazlasıyla karşılayabilir. Hatta rüzgâr ve güneş enerji santrallerinin fazla üretimi önlemek için kapandığı bile olmaktadır. Ancak akşam olduğunda güneş enerjisi santralleri yetersiz kalır. Şekil-2 de grafikte oluşan öğlen saatlerindeki derinleşme ve akşam saatlerindeki dik olarak ilerleyen eğimin bir adı vardır: Duck curve (Ördek eğrisi). Bu eğri elektrik şebekeleri için sorun teşkil eder. Santrallerin devamlı kapanması, arıza, ekonomi ve verimsizliğe sebep olur [2].



Şekil 2 Ördek eğrisi (2015-2023) [3]

Görsel-2'den de görüldüğü üzere yıllara göre, gündüz üretim fazlası talebi karşılar iken gece saatlerinde talebin artması, üretimi yetersiz bırakmaktadır. Bu eğrideki derinliği azaltmak için bataryalı enerji depolama yatırımlarının hızla artmaktadır. Gündüz 12:00-16:00 arası fazla üretilen elektrik enerjisi batarya teknolojileri ile depolayarak gece 20:00-23:00 arası talep yoğunluğunu azaltılması ile şebeke esnekliği sağlanabilecektir. Ancak otoriteler dekarbonizasyonu sağlamak ve dışa bağımlılığı azaltmak için yatırımlarını teşvik eder ve regülatif bir şekilde kontrol edilmeden başta güneş enerjisi olmak üzere yenilenebilir santrallerini artırırsa eğri daha da derinleşebilir. Bu durum fazla üretimi meydana getirebilir.

Enerji Depolama sistemleri, şebeke esnekliği sağlanarak gün içerisinde fazla üretimi depolanabilmekte, üretimin azaldığı, talebin arttığı zamanlarda kullanılabilir. Böylece elektrik, fiyatın düşük olduğu gece saatlerinde enerji depolanıp, yükseldiği saatlerde enerjinin satılması, şebeke güvenliği, frekans kontrolü yapması, elektrikli araç şarj istasyonlarının getirdiği ek şebeke yüklerinin minimize edilmesi, sezonluk değişen enerji talebinin karşılanabilmesi, (sezonsallık: turizm artması, tarım sulama artması, bölgesel işçilikler; çay, fındık, Antep fıstığı vb.) ve yenilenebilir hibrit depolama ile karbon nötre katkı sağlaması nedeniyle enerji depolama teknolojisi hızla artmaktadır. Devletler bu konuda ördek eğrisi derinliğini azaltmak için teşvik mekanizmaları geliştirmektedir. Bloomberg NEF'in raporuna göre, 2021 sonunda 27 GW/56 GWh olan küresel enerji depolama kapasitesi 2022'de 43 gigawatt (GW)/ 91 gigawat saat (GWh) seviyesine ulaşırken, 2030 yılına ilişkin kümülatif kapasite öngörülerini 508 GW/ bin 432 GWh'a kadar çıkıyor [4]. Yıllık lityum-iyon batarya talebine ilişkin grafik-1 'den de görüldüğü üzere yenilenebilir hibrit depolama yanında elektrikli araç kaynaklı ciddi lityum-iyon batarya kullanımı olmaktadır.



Grafik-1 Yıllık Lityum-İyon Batarya Talebi (2015-2030) [5]

4. Türkiye’de Genel Durum

Yenilenebilir enerji alanında yüksek potansiyele sahip olan Türkiye, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan ‘Türkiye Ulusal Enerji Planı’ doğrultusunda 2035 yılına kadar rüzgâr enerjisinde 29,6 GW; güneş enerjisinde ise 52,9 GW düzeyinde kurulu güce ulaşmayı hedefliyor. Artan bu yenilenebilir enerjilerin etkili kullanımı amacıyla 19 Kasım 2022’de yürürlüğe giren ‘Elektrik Piyasasında Depolama Faaliyetleri Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik’ enerjisi daha etkin ve dışa bağımlılığı azaltacak regülasyon olarak söylenebilir.

Enerji alanında dünyanın ve Türkiye’nin geleceğinin depolama sistemlerinde olduğunu ekleyen Açık, “Wood Mackenzie tarafından yayımlanan ‘Güç ve Yenilenebilir Enerji’ raporuna göre dünyada bataryalı enerji depolama sistemleri alanında 2020’de 1,2 milyar dolar yıllık gelir kazanımı mevcut iken bu tutarın 2025’te 4,3 milyar dolara ulaşacağı öngörülmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı’nın raporuna göre de Türkiye yenilenebilir enerjide 5 yıl içinde %64 seviyesinde büyüyecek ve bu büyümenin yüzde 75’i rüzgâr ve güneş enerjisinden elde edilecek şekilde yayınlanmıştır. Benzer şekilde T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından Türkiye Ulusal Enerji 2020-2035 yılları arası için üretim ve tüketimde oluşabilecek görünüm senaryo çerçevesinde şebeke esneklik ihtiyacının karşılanabilmesi için de batarya kapasitesinin 7,5 GW’a (2 saat dolun süresi), elektrolizör kapasitesinin 5 GW’a, talep tarafı katılının da 1,7 GW’a ulaşması öngörülmektedir. Batarya enerji depolamada Türkiye genellikle lityum-iyon batarya teknolojisini tercih etmekte olup farklı teknolojilerinde piyasada yer alması beklenmektedir [6][7].



Sonuç

Artan enerji talebi, ülkelerin enerjide dışa bağımlılığı azaltma çalışmaları, arz güvenliği ve bugün küresel ölçekte yaşanan iklim değişikliği, hastalıklar ve doğal afetler ile giderek başta insanlar olmak üzere tüm canlılara zarar vermesi nedeniyle, daha temiz ve sürdürülebilir bir gelecek için devletler üstü, uluslararası örgütler tarafından alınan kararlar neticesinde, iklim değişikliğine direnç oluşturabilecek mekanizmalar zorunlu hale gelmiştir. Enerjide karbonsuzlaşma odağında ve teknolojinin gelişmesi ile enerji üretimde yenilenebilir kaynakların payı artmaktadır. Otoriteler tarafından yapılan yasal düzenlemeler ve teşvikler ile artan yenilenebilir enerji payı ülkelerin dışa bağımlılığının azaltılması ve temiz enerji anlayışı yani dekarbonizasyona önem kazandırmıştır. Yenilenebilir santraller ile hibrit yapıda yaygınlaşan şebeke ölçekli enerji depolama sistemleri, üretimin fazla olduğu zamanlarda, şebekenin enerji talebi arttığında, kesintilerde ve frekans ihtiyacı gibi teknik problemlerde gelişmiş enerji yönetim yazılımları ile şarj-deşarj ayarı yapar ve şebekeye esneklik sağlar. Bu nedenle artık ülkeler enerji politikasında arz güvenliği, dekarbonizasyon ve şebekeye esneklik sağlamak amacıyla bataryalı enerji depolama sistemleri kurmaktadır.

Kaynaklar

1. Fang S., Wang Y. (2021) The Role of Energy Storage Systems in Microgrids Operation. In: Anvari-Moghaddam A., Abdi H., Mohammadi-Ivatloo B., Hatziaargyriou N. (eds) Microgrids. Power Systems. Springer, Cham. pp:127-149, https://doi.org/10.1007/978-3-030-59750-4_5
2. Lazar, J. (2016). Teaching the “Duck” to Fly, Second Edition. Montpelier, VT: The Regulatory Assistance Project. Available at: <http://www.raponline.org/document/download/id/7956>
3. As solar capacity grows, duck curves are getting deeper in California (www.eia.gov adresinden 10.07.2023 tarihinde erişildi)
4. Enerji depolama sektörünün altın çağı başlıyor, <https://www.paradergi.com.tr> adresinden 10.07.2023 tarihinde erişildi)
5. Bloomberg NEF, Avicenne
6. Wood Mackenzie, Güç ve Yenilenebilir Enerji Raporu
7. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye Ulusal Enerji (2020-2035)



SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ STRATEJİSİ ÇALIŞMALARINA YÖNELİK SANAYİ BÖLGESİNDEKİ ÜNİVERSİTE BİNASININ ENERJİ-EKSERJİ YAKLAŞIMIYLA VERİMLİLİĞİN İNCELENMESİ

Investigation of the Efficiency of the University Building in the Industrial Zone by Using Energy-Exergy Approach for Sustainable Energy Strategy Studies.

Dr. Hikmet BAL^{*1}, Dr. Zeliha Şahin Çağlı², Dr. Baran Uslu³

*Corresponding Author Affiliation:

- 1, OSTİM Teknik Üniversitesi, hikmet.bal@ostimteknik.edu.tr
- 2, OSTİM Teknik Üniversitesi, zeliha.sahincagli@ostimteknik.edu.tr
- 3, OSTİM Teknik Üniversitesi, baran.uslu@ostimteknik.edu.tr

ÖZET

Bu çalışma sanayi bölgesinde yer alan OSTİM Teknik Üniversitesi binasında enerji tüketen sistemlerin karbon ayak izi hesaplarını ve verimlilik incelemesini içermektedir. Çalışmanın amacı, Üniversitenin enerji tüketimlerini izlemek ve karbon emisyonuna etkisini tespit etmek ve bunun için neler yapılabileceğini irdeleyerek, "Sürdürülebilirlik, Enerji ve Çevre Stratejisi"ni oluşturmak, buna yönelik Eylem Planı geliştirmektir. Enerjinin ölçülebilir olması ve verimli kullanılmasında bina yönetim sistemlerinin etkisi her geçen gün artmaktadır. 2000 m²'den büyük tesislerde ısıtma soğutma ekipmanları, aydınlatma sistemleri, asansörler, bina kabuğunda ve bloklar arası köprü geçişlerinde ısı kayıpları önemli ölçüde enerji tüketimine neden olmakta, BEP (Bina Enerji Performansı) yönetmeliğine göre verimlilik sağlayacak mekanik sistemler, fiziksel olarak yalıtım ve gölgeleme uygulamalarının yapılandırması ve takibi gerekmektedir. Bu çalışmada karbon ayak izi Üniversite binası özelinde enerji tüketen sistemler için hesaplanmış ve yeni kampüs için enerji ve çevreye yönelik parametrelerin metrikleri elde edilmeye çalışılmıştır. Çalışmamızda, karbon ayak izi hesabı için genelde göz ardı edilen ekserji tabanlı inceleme de gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda öncelikle mevcut Üniversite binasının mimari-mekanik-elektrik uygulanmış (as-built) projeleri, tüketim verileri incelenmiş, CO₂ emisyon hesaplamaları sonrasında Üniversite binası için güneş enerjisi kullanımına yönelik değerlendirme yapılmıştır. Enerji- ekserji etüdü sonrasında elde edilen sonuçlar, mevcut bina sorun sahalarına ışık tutmaktadır. Bu çalışma, verimliliği artırıcı eylem planı geliştirme ve gerekli otomasyon tasarımı için esas teşkil etmektedir.

ABSTRACT

This study includes carbon footprint calculations and efficiency analysis of energy consuming systems in OSTİM Technical University building in the industrial zone. The aim of the study is to monitor the energy consumption of the University, to determine its impact on carbon emissions and to examine what can be done for this, to create a "Sustainability, Energy and Environment Strategy" and to develop an Action Plan for this purpose. The impact of building management systems on the measurability and efficient use of energy is increasing nowadays. In facilities larger than 2000 m², heating and cooling equipment, lighting systems, elevators, heat losses in the building envelope and bridge transitions between blocks cause significant energy consumption, and mechanical systems that will provide efficiency according to the BEP (Building Energy Performance) regulation, physical insulation and shading applications should be configured and monitored. In this study, carbon footprint was calculated for energy consuming systems specific to the University building and metrics of energy and environmental parameters for the new campus were tried to be obtained. In our study, exergy-based analysis, which is generally ignored for carbon footprint calculation, was also carried out. For this purpose, firstly, the architectural-mechanical-electrical as-built projects of the existing University building, consumption data is examined, CO₂ emission calculations is carried out, then for the use of solar energy for the University building is evaluated. The results obtained after the energy-exergy study enlighten the existing building problem areas. This study is the basis for the development of an action plan to increase efficiency and the necessary automation design for our University.

1. GİRİŞ

Yükseköğretim kurumları, sürekli olarak daha etkili yönetsel ve teknolojik çözümler arayan ve eğitim sürecine ve idari-teknolojik yönetim uygulamalarına yenilikler getiren toplumun sürdürülebilir kalkınma modeline geçişte önemli bir rol oynamaktadır. EÜAŞ 2022 üretim verilerine göre, Ülkemizde tüketilen enerjinin %40'lık kısmı yapılarda tüketilmektedir. Bu tüketilen enerjinin, %30'u hidrolik enerjiden, %22'i doğalgazdan, %35'i kömürden, %11'i rüzgârdan, %4,6'u güneşten %3,4'u jeotermal enerjiden %2,5'u ise diğer kaynaklardan elde edilmektedir.

Enerjinin ölçülebilir olması, izlenebilir olması yapının yaşam döngüsü ve işletim süresince verimli kullanılmasında bina yönetim sistemlerinin etkisi her geçen gün artmaktadır. Üniversite binalarındaki enerji tüketimi oranı, bina büyüklüğü, tasarımı, kullanıcı sayısı, kullanım alışkanlıkları, iklim ve enerji yönetimi uygulamaları gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Resmi Gazetede 2010 yılında yayınlanan "Binalarda Enerji Performansı" yönetmeliği ile konfor şartlarından ödün vermeden enerji tüketimlerinin azaltılması hedeflenmektedir. Bu yönetmelik ile öncelikli amaç kullanılan enerjinin ölçülmesi ve raporlanmasıdır. Bu raporlar sonucu oluşan veriler ile binalara enerji kimlik belgesi verilmekte ve sınıflandırma yapılmaktadır. Bu da projelendirilmeden işletmeye kadar geçen tüm aşamalarda enerji verimliliğini ön plana çıkarmaktadır. Projelendirme ve tasarım esnasında hesaplar maksimum ve minimum iklim koşulları göz önüne alınarak yapılmaktadır. İşletme sırasında ise sistemin bu pik yüklerde çalışma süresi çok düşüktür. Otomatik kontrol sistemi kullanılarak iklim koşullarına göre kapasite ayarı yapılabilmektedir. Bu kapasite ayarları ise oransal çalışabilen frekans konvertörlü motorlar ile desteklenmektedir.

Enerji-yakıt tasarrufu konusundaki optimizasyonda sadece ısı yalıtımı değil, aynı zamanda HVAC (Heating Ventilating Air Conditioning) sisteminin verimliliği de ele alınmalıdır. Klima sistemlerinin amacı; şartlandırılan mahalın havalandırma ve soğutma ihtiyacının karşılanmasıdır. Bu nedenle dünyadaki standart ve yönetmelikler ile HVAC ekipmanları ve tesisatının verimi tanımlanmaya ve sınırlar getirilmeye çalışılmıştır. Örneğin Amerika'da binalarda enerji tüketiminin sınırlandırılması için ASHRAE/IESNA 90.1-2001 standardı hazırlanmıştır [1]. Burada bir yandan yapı dış kabuğundan olan ısı kazanç ve kayıpları üzerinde durulurken, standardın önemli bir bölümü HVAC cihaz ve sistemlerinin verimliliğine ve bu sistemlerde enerji geri kazanma konularına ayrılmıştır.

Ülkemizde de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca verimlilik çalışmalarına yönelik; mevzuatsal çalışmalar, yetkin personel yetiştirme için eğitimler ve yapılması gereken enerji etütleri HVAC sistemlerinden, mimari ve elektrik sistemlerine kadar icra edilerek yayınlanmıştır [2-3].

Enerji kaynaklarının kullanımında fosil yakıtların yakılması büyük önem taşımaktadır. Yakma sistemlerinin veriminde yapılacak ufak gelişmeler dahi ülke genelinde büyük tasarruf sağlayacaktır. Günümüzde kullanılan enerji üretim teknolojilerinin bazı sakıncaları bulunmaktadır. Örneğin; sınırlı kaynaklara bağımlıdır (fosil yakıtlar), çevreyi kirletirler (hava ve su kirliliği, atık depolama) ve sera (küresel ısınma) etkisi yaratırlar. Fosil yakıtların kullanılması, karbondioksit gazı biçiminde karbon açığa çıkmasına yol açar. Karbondioksit ise iklim değişikliği yaratan insan etkinliklerinin yaydığı en önemli sera gazıdır. Bugün, özellikle kuraklıklar, seller ve rekor kıran sıcaklıklar yüzünden mercanların ağarması ve kutupların erimesi gibi iklim değişikliği etkilerine tüm dünya tanık olmaktadır.

Son yıllarda sıkça duyulan Yeşil bina kavramı, USGBC -Amerika Yeşil Binalar Konseyi (US Green Building Council), tarafından tanımlanan şekliyle, binanın yerleşimini, su yönetimini, iç hava kalitesini, malzeme kullanımını ve enerji unsurlarını içerir. Sağlıklı, rahat, sağlam, enerji verimli ve çevre bilinçli ve çevre dostu binalar demektir. Bu tür binalar, LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), adı verilen bir sistem ile değerlendirilebilmekte, sistem her türlü binaya uygulanabilmektedir.

Avrupa Birliğinde üzerinde yoğun olarak çalışılan "Energy Performance of Buildings Directive" direktifi sürdürülebilir binalara yöneliktir. Burada da binaların enerji etkinliği açısından değerlendirilmesinde;

- 1) Isıl yalıtım,
- 2) Isıtma ve klima sistemleri ve bunların verimliliği,
- 3) Binanın tasarımı, doğal enerji uygulaması (pasif sistemler, doğal kaynaklardan yararlanma),
- 4) Yenilenebilir enerji alternatiflerinin uygulanması birlikte ele alınmaktadır.

Bu yöndeki çalışmaların sonucunda çıkan hedef kavram "Net Zero Energy Building" kavramıdır. Bu binalarda dışarıdan hiçbir fosil yakıt ve fosil yakıtı dayalı enerji girişi olmamalıdır. Bina kendi enerji ihtiyacını yenilenebilir kaynaklardan kendi karşılamalıdır. Bu yönetmeliklerde binada kullanılan her türlü enerji dikkate alınmalıdır (ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su üretimi, pompa ve fanlar gibi yardımcı cihazlarda kullanma, aydınlatma, pişirme, diğer elektrikli ofis ve ev cihazlarında kullanma). Sonuç olarak bu tip bir yönetmelikte en uygun parametrelerden birisinin, bina yıllık CO₂ salımı veya tüketimine neden olunan yıllık fosil yakıt miktarı performansı kriteri olarak alınabilmektedir. Mimari ve mühendis, binanın ve HVAC tesisatının tasarımını yaparken farklı elemanları kullanarak ve değişik yollarla belirlenen sınır değerini altına inebilir. Bu optimizasyon ve esneklik tamamen mühendislik becerisiyle gerçekleştirilecektir. Birbirinden çok farklı çözümlerle aynı hedefe ulaşılabilir.

Bu çözümler ve sonuçlarından elde edilen kazanımlar önem arz ettiğinden ilgili çalışmalar literatürde de artarak çoğalmaktadır. Çomaklı [4] yaptığı çalışmada Atatürk Üniversitesi ısıtma merkezinin enerji ve ekserji analizini yapmıştır. Çalışmada ısıtma sistemi için kullanılan kazanda meydana gelen enerji ve ekserji kayıpları hesaplanmıştır. Yapılan analizler neticesinde ısıtma sisteminin enerji verimi ve ekserji verimi sırasıyla % 83 ve % 10,8 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca binada mevcut bulunan yalıtım yerine hesaplanan optimum değerdeki 10 cm yalıtımın kullanılması, radyatör arkası yalıtım, perde uygulaması revizeleri, tek cam yerine çift cam kullanılması gibi iyileştirmeler ile % 30 oranında yakıt tasarrufu sağlanabileceği belirtilmiştir.

Kılış B. [5] minimum mahal ısıtma sistemleri için karbon ayak izi ve optimum enerji verimi verecek şekilde ekserji bazlı bir model geliştirmiştir. Çalışmada, karbon ayak izini en aza indiren ve verimliliği en üst düzeye çıkaran düşük sıcaklıklı bölgesel ısıtma sistemlerinin tasarlanması için bir model sunulmuştur. Kılış [10], ASHRAE El Kitabı-HVAC Uygulamaları, Bölüm 36'da HVAC uygulamalarında güneş enerjisinin kullanımını göstermiştir.

Lozano vd., [6] sürdürülebilirlik faaliyetlerinin üniversitelere entegre edilebilmesi için gereken bazı temel unsurları belirlemiştir. Bu unsurları: Diğer üniversitelerle iş birliği; Disiplinler arası çalışmaların geliştirilmesi, Sürdürülebilirliği kurumsal çerçevenin temel bir parçası haline getirme; Kampüs içi yaşam deneyimleri oluşturma; Eğitimcileri eğitmek programlarını oluşturma ve teşvik etmek olarak sıralamıştır.

Leal Filho vd., [17] Üniversiteler sürdürülebilirlik ilkelerinin entegrasyonunu gerçekleştirirken faaliyetlerinin ekonomi, toplum ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltma konusunda genellikle aşağıdaki alanları, odaklar olarak sınıflandırmışlardır:

- Binaların sürdürülebilirlik kriterlerine (enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kullanımı, toksik olmayan ve sürdürülebilir malzeme kullanımı vb.) uygun olarak planlanması, inşası, bakımı, onarımı ve yıkımını ifade eden yeşil bina,
- Ofis atıklarının (kâğıt, klasörler, kartuşlar, elektronik atıklar), mobilyaların (masalar, sandalyeler), laboratuvar veya klinik atıkların (kimyasallar, ekipman, atık su), kafeteryalardan gelen gıda atıklarının toplanmasını, taşınmasını ve arıtılmasını (geri dönüşüm veya bertaraf) içeren en az atık üretme ve atık yönetimi,
- Özellikle çevreye verilen zararı en aza indirerek yalnızca kuruluş (yani üniversite) için değil aynı zamanda toplum ve ekonomi için de fayda sağlayacak şekilde yeşil kamu ihale yönergelerine uygun olarak mal ve hizmetlerin satın alınmasını ifade eden sürdürülebilir satın alma,
- Hem personellerin işe geliş gidişlerinin hem de öğrencilerin okula geliş gidişlerinin daha ucuz ve çevresel açıdan daha sürdürülebilir olmasını sağlamak (örneğin, bisiklet, elektrikli araçlar, toplu taşıma ve araba paylaşımını teşvik etmek) aynı zamanda engelliler için erişilebilirliği de sağlamak amacıyla sürdürülebilir hareketlilik...

Tüm bu çalışmaların ortak noktaları; tesis ve altyapı, enerji ve iklim değişikliği, atık yönetimi ve arıtma, ulaşım, ilgili eğitim ve araştırmaları hedeflemeleridir. HVAC sistemlerinin verimliliğe yönelik absorpsiyonlu veya kaskad soğutma sistemleri, ısı pompaları ayrıca yenilenebilir enerjiye yönelik uygulamalar, enerji yönetim sistemleri oluşturulması, karbon ayak izinin azaltılması konularında çalışmalar devam etmektedir. [8-18]

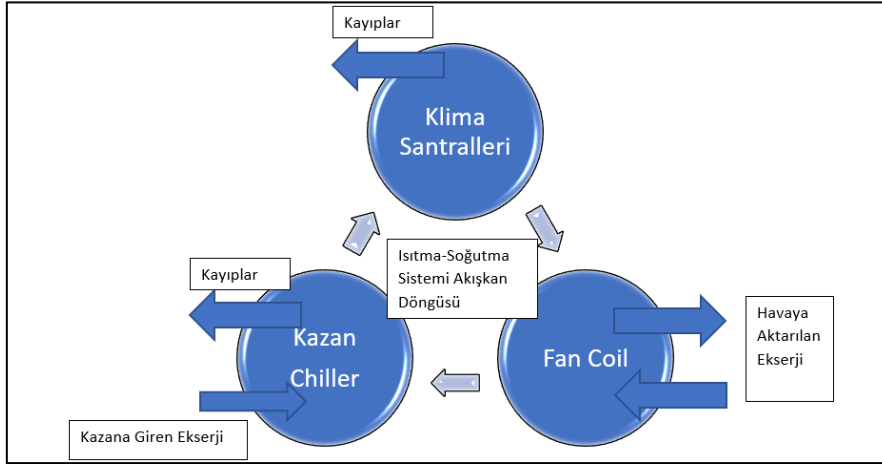
Bu çalışmalar hem çevre için hem de enerji verimliliği için uluslararası Leeds-GreenMetric-ZeroEnergy Building ya da ulusal TSE - Enerji Bakanlığı gibi standartlar kullanılarak enerji etüdünün üniversitemiz için de yapılmasının elzem olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın başlangıç noktası bu gerekliliktir. Literatürdeki çalışmalardan farklı ve özgün tarafı ise çoğunlukla ihmal edilen ekserji perspektifinde de üniversitenin enerji sistemlerinin incelenerek sürdürülebilirlik stratejisinin de oluşturulmasıdır.

2. MATERYAL VE METOT

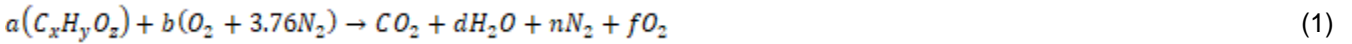
Termodinamik belirlenen bir sistem ile çevresi arasındaki ısı alverişini ve enerjinin birbirlerine dönüşümlerini açıklar. Evrende var olan bütün enerji dönüşümleri termodinamiğin birinci yasası ile düzenlenir. Isıtma soğutma sistemlerinde elektrik ve doğalgazdan elde edilen enerjiler sistem içerisindeki akışkana iletilerek istenilen şartlanma elde edilir. Bu sistemlerde kullanılan doğalgaz ve elektrik tüketimini dakika, saat, hafta, aylık ve hatta yıllık olarak ölçülerek tüketilen enerji belirlenebilmektedir. Daha sonra ısıtma ve soğutma sistemleri detaylandırılarak ortamda meydana gelen enerji değişiklikleri hesaplanıp enerji tüketimi ile karşılaştırıldığında, sistemin verimi hesaplanabilmektedir. Bu ölçümlere kazandan suyun kaç derecede çıktığı, kazana giriş suyu debisi, sıcaklığı, fan coil ve klima santrallerinde suyun debisi, giriş ve çıkış sıcaklıkları, fan coil ve kazan ünitelerine giren havanın debisi, giriş ve çıkış sıcaklıkları örnek verilebilir.

Termodinamiğin birinci yasası enerji etkileşimleri süresince oluşan nitelik değişimleri hakkında bilgi vermemesi nedeniyle, bir ekipmanın ısıl prosesinin değerlendirilmesi ve analizi için sadece birinci kanun veriminin kullanılması yeterli değildir. Termodinamiğin ikinci yasasına göre belirli bir miktar enerjinin veya enerji akısının herhangi bir süreç içerisinde çevre ile ısıl dengeye gelene kadar faydalı işe dönüştürülebilir bölümüne ekserji denir. Termodinamiğin birinci yasası enerjinin niteliği ile ilgili olarak termodinamiğin ikinci yasası enerjinin kalitesini belirler. Ekserji verimi Termodinamiğin 1. kanunu ve 2. kanununu birlikte dikkate alan ikinci kanun verimi olarak bilinmektedir. Ekserji analizi, sadece enerji niceliği hakkında bilgi vermez, aynı zamanda enerjinin kullanım etkinliğini ve niteliğini göstermektedir. Ekserji verimi, proseslerin tersinmezlik derecesini ölçmek için de kullanılmaktadır. Şekil-1’de sistem ekserji döngüsü görülmektedir.



Şekil 1. Sistem Ekserji Döngüsü

Enerji kullanım miktarı ve verime bakılarak Eş.1 ile karbon ayak izi hesaplanabilmektedir. Baca gazlarının çevrede bulunma yüzdeleri Tablo-1’de verilmiştir.



Tablo-1. Baca gazlarının çevrede bulunma miktarı

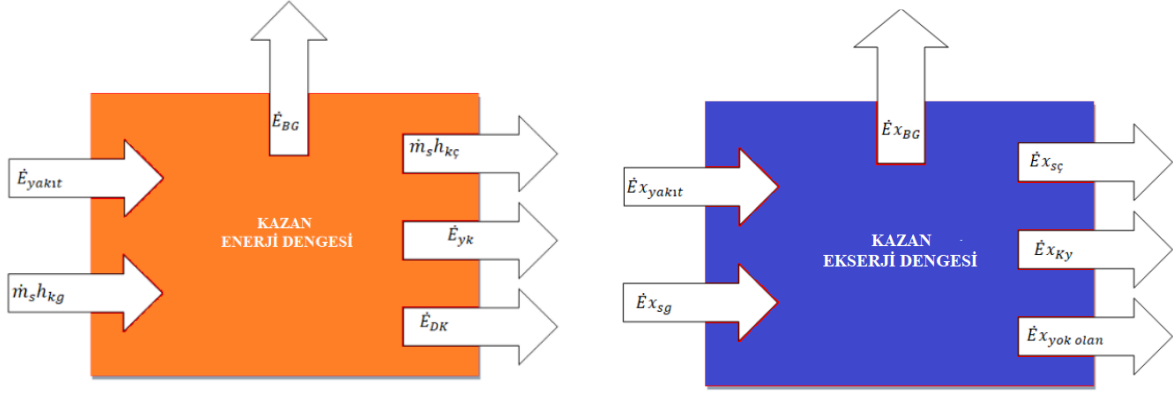
	O_2	CO	CO_2	H_2O	N_2
y (%)	20,35	0,0007	0,03	3,03	75,67

Bu çalışmada ekserjik verimin de ele alındığı bir çözümleme modeli kullanılmıştır [19]. Elektrik gücü üretiminde ülkemizin son durumu incelenerek EÜAŞ 2022 yılına ilişkin güç üretim değerleri kullanılmıştır, bu değerler Tablo-2’de sunulmuştur. Bu ve Aslında, kış aylarında hidroelektrik enerji üretimi azalır, bahar aylarında ise çoğalır. Kış mevsiminde güneş enerjisi de azalır, buna karşın bazı yörelerde rüzgâr enerjisi artar. Bu nedenlerle ideal bir çözüm ortamı oluşturmak için bu raporda verilen örnek çözümlerinin bir yıl boyunca saatlik güç üretim verilerinin kullanılması ile saatlik tabanda incelenmesi gerekir. Her ne kadar son yıllarda verimleri artsa da doğal gaz santrallerimizin bir kısmının eskidikçe verimlerinin azalması nedeniyle bugün için hâlâ ortalama verimin %45 dolayında olduğu kabul edilmektedir.

Ekserjinin en büyük değeri Eş.2 ile hesaplanabilmektedir. Burada E_{max} : Maksimum ekserji, T_{ref} : Çevre denge sıcaklığı, T_f : Enerji kaynak sıcaklığı, Q : Isıl gücü ifade etmektedir.

$$Ex_{max} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f}\right) Q \quad (2)$$

Şekil-2.a-b'de bir ısıtma sistemi için enerji ve ekserji dengesi, Eş.3-4'de verilmiştir.



Şekil-2 Isıtma sistemi enerji ve ekserji dengesi

$$E_{yakit} + \dot{m}_s h_{kg} = E_{BG} + \dot{m}_s h_{kç} + E_{yk} + E_{DK} \quad (3)$$

$$\dot{E}_{x_{yakit}} + \dot{E}_{x_{sg}} = \dot{E}_{x_{sç}} + \dot{E}_{x_{ky}} + \dot{E}_{x_{BG}} + E_{yikim} \quad (4)$$

Tablo 2. Türkiye 2022 Yılı Güç Santrallerimiz Kurulu Güç Payları

Kaynak Türü	Kaynak	Adiyabatik Yanma Sıcaklığı (gerçek veya sanal) T _f Kelvin	Özgül CO ₂ Salımı, kg CO ₂ /kWh	Santral Sistem atık ısı / sıcaklığı (T _E) kelvin	Toplam Üretimdeki Payı % (a _i)	Toplam Pay %	Ortalama Verim
Fosil	Kömür ve Linyit	2440	0.35	750	31.4	64.2	0.27*
	Doğal Gaz	2340	0.2	317	32.7		
	Fueloil, nafta vb..	2375	0.28	750	0.1		
Yenilenebilir	Hidroelektrik	5778	-	373	16.8	35.8	0.85**
	Güneş s.	559.44	-	323(PV)	4		
	Rüzgar S.	478.3	-	350	9.39		
	Jeotermal S.	377	0.8***	317	3.25		
	Biyogaz S.	1900	0.2	750	2.3		

* Santral ısıl verimi, şebeke hat iletim-dağıtım verimleri, YG, OG, AG trafo kayıpları (Kaçaklar hariç).

** Şebeke hat iletim verimleri, YG, OG, AG, trafo kayıpları (kaçaklar hariç), PV evirici kayıpları vs.

*** DB verileri

Seri bağlantılı bir sistemde toplam birinci yasa verimi, Eş.5 kullanılarak tüm sistem bileşenlerinin veriminin çarpımı ile hesaplanabilir. Bu durumda PEF (Primary Energy Factor) Eş.6 ile hesaplanmaktadır. Doğalgaz eşbazında CO₂ salım sorumluluğu ise Eş.7 ile elde edilebilir [19].

$$\eta_T = \prod \eta_i \quad (5)$$

$$PEF = \frac{1}{\eta_r} \quad (6)$$

$$CO_2 = \frac{0.196}{\eta_r} = 0.196 \times PEF \quad (7)$$

Ekserji analizi için kullanılan metod ile sistemden gerecekte ne kadar verim alınabildiği Eş.8 ile hesaplanabilmektedir [19]. Bunun için yakıtın adyabatik yanma sıcaklığından (Flame temperature) bir çevre referans sıcaklığına (T_{ref}) kadar olan enerjinin yolculuğu göz önünde tutulacaktır. Tablo 2'de Ülkemizdeki birçok yakıt türü elektrik üretiminde kullanılmakta olup her yakıt türünün ayrı T_f değerleri mevcuttur. (T_E) değerleri ise yine Tablo.2'de verilmiştir. Bu durumda Ekserjik verim ise Eş.9 ile hesaplanabilmektedir.

$$\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f}\right) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{fi}}\right) \quad (8)$$

$$\psi_R = 1 - \left(\frac{\varepsilon_{dex}}{\varepsilon_{sup}}\right) \quad (9)$$

Burada E_{max} : Maksimum ekserji, T_{ref} : Çevre denge sıcaklığı, T_r : Enerji kaynak sıcaklığı, Q : Isıl gücü, ψ_R : ekserjik verimi, ε : spesifik ekserjiyi ifade etmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada 41886 m² kullanım alanı bulunan mevcut üniversite binası incelenmiştir. Binada ısıtma için 24 adet 128kW kapasiteli kaskad bağlı kazan bulunmaktadır. Isıtma soğutma sistemleri pompaları verimlilik sınıfı EC3'dür. Aydınlatmada LED armatürler kullanılmaktadır. Elektrik ana panosunda kompanzasyon panosu da mevcuttur. Resim-1.a-e'de buna ilişkin fotoğraflar görülmektedir.



Resim-1.a-e : OSTİM Teknik Üniversitesi binası elektrik ve mekanik donatıları.

Kampüs binasındaki bu sistemlerde kullanılan ana enerji kaynağı elektrik ve doğalgazdır. Bu amaçla öncelikle elektrik ve doğalgaz tüketimleri gözlemlenmiştir. Tablo-3'de elektrik ve doğalgaz tüketim miktarları 2022 yılı için verilmiştir.

Tablo-3 Fatura (Başkentgaz ve Enerjisa) kayıtlarından alınan tüketim değerleri.

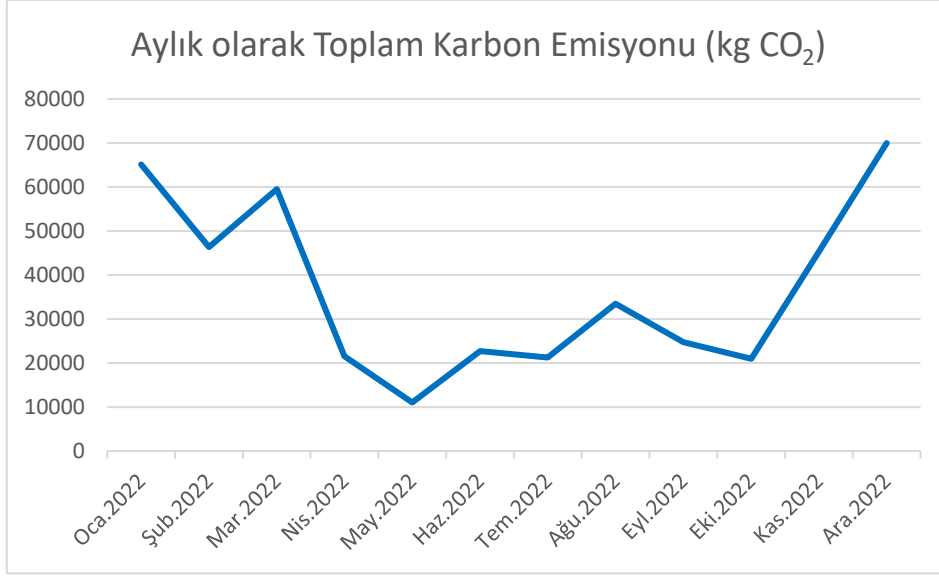


AYLAR	ELEKTRİK TÜKETİMİ (kWh)	DOĞALGAZ TÜKETİMİ (sm3)
Oca.22	42430,05	25.473,55
Şub.22	33088,25	17.659,53
Mar.22	40910	22.737,11
Nis.22	28426,95	4.813,54
May.22	23661,78	1.206,46
Haz.22	49596,15	
Tem.22	46255,835	
Ağu.22	73330,7	
Eyl.22	54076,875	
Eki.22	45650,87	
Kas.22	63231,5	
Ara.22	79788,47	18.818,32
Toplam	580.447,43	99.956,51

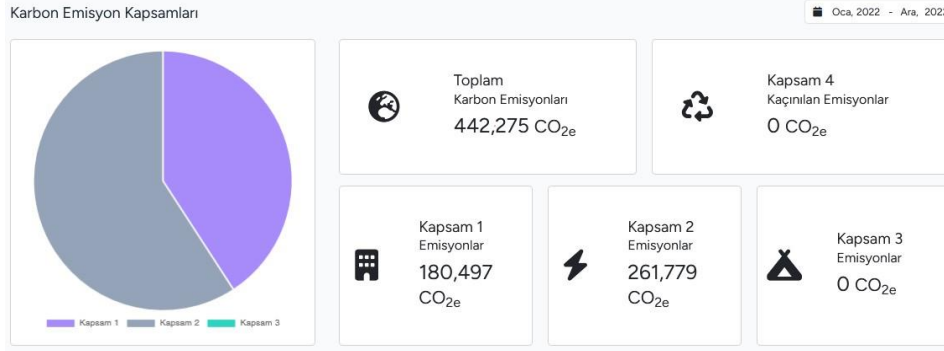
Tablo-1'de yeralan tüketim verilerine göre hesaplanan karbon emisyonu aylara göre Tablo2'de ve Şekil-4'de sunulmuştur. Toplam karbon emisyonu 2022 yılı için 443 ton civarındadır. Karbon emisyon kapsamlarına bakıldığında bunun ~262 tonunun elektrik tüketiminden, ~180 tonunun doğalgaz tüketiminden olduğu görülmektedir. Kapsam grafiği Şekil-5'de gösterilmiştir.

Tablo-2 Enerji kaynaklarına göre Aylık Karbon Emisyonları

	Oca. 22	Şub. 22	Mar.22	Nis. 22	May. 22	Haz. 22	Tem. 22	Ağu. 22	Eyl. 22	Eki. 22	Kas. 22	Ara. 22
Elektrik (kgCO _{2e})	19136	14923	18450	12820	10671	22368	20861	33072	24388	20588	28517	35984
Isıtma (kgCO _{2e})	46000	31384	41060	8692	363	363	363	363	363	363	16701	33982
Toplam	65136	46307	59510	21512	11034	22731	21224	33435	24751	20951	45218	69966



Şekil-3 2022 yılı enerji tüketim verilerine göre hesaplanan karbon emisyonu



Şekil-4 2022 yılı enerji tüketim verilerine göre hesaplanan karbon emisyonu kapsam grafiği

Bununla birlikte verim düştükçe Eş.5-8'deki birinci yasa verimine göre verimin düştüğü görülmektedir. Ülkemizdeki santral verimi 0.45, iletim hat verimi 0.80, dağıtım verimi 0.65 (kayıp-kaçak), transformatör verimi 0.95, alınabilir. Bu durumda toplam verim Eş.5'den;

$$\eta_T = 0.45 \times 0.80 \times 0.75 \times 0.95 = 0.25 \text{ elde edilmektedir.}$$

$$PEF = \frac{1}{\eta_T} = 3.90$$

$$CO_2 = 0.196 \times PEF = 0.76 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$$

olmaktadır. Bu birim emisyonu göre karbon salımı 443 tondan daha fazla emisyon değeri vermektedir. Ancak öncelikle kuruluş sınırları içindeki verim artırımına incelemede odaklanılmıştır.

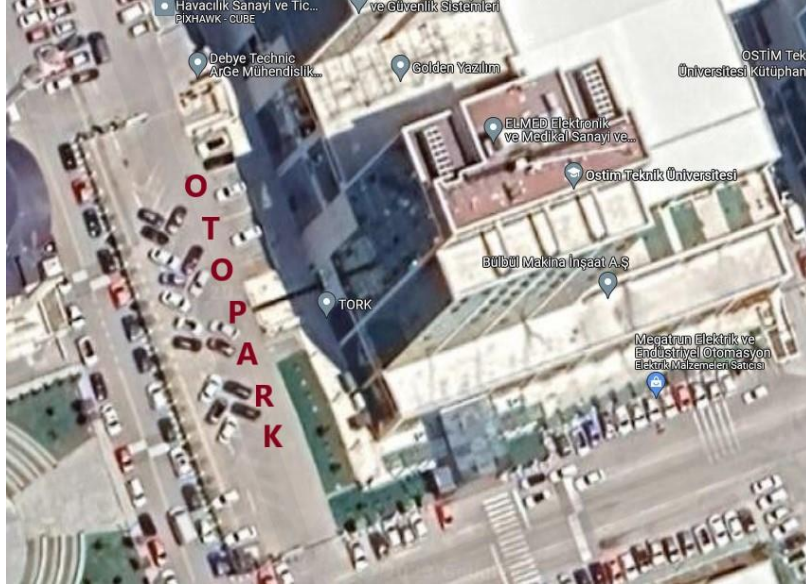
Karbon emisyonu değerleri incelendiğinde %59'unun elektrik tüketimi gibi dolaylı emisyonlardan kaynaklandığı görülmektedir. Üniversitemizde sınırlı olmakla birlikte rüzgar enerjisi kullanımı mevcuttur. Ancak, karbon emisyonu azaltımına yönelik Üniversite binasının otoparkında bir güneş enerjisi tarlası kurulması öngörülmüştür. Buna bağlı olarak karbon emisyonu azaltımı ekserji yaklaşımına göre de incelenmiştir.

Resim-2'de görülen 15 m - 50 m boyutlarındaki üstü açık otopark alanına, 750 m² küçük bir güneş enerjisi tarlası kurulması değerlendirilmiştir. Standart 1 m - 0.67 m boyutlarındaki güneş panelleri kullanılarak, fizibilite çalışması

sonucunda bu alanda yaklaşık olarak 600 adet fotovoltaik (PV) panel kurulma imkanı olduğu belirlenmiştir. Bu boyuttaki bir panelin 100 W güç üretme potansiyeli bulunmakta olup toplamda 60 kWh enerji üretim kapasitesi elde edilmektedir.

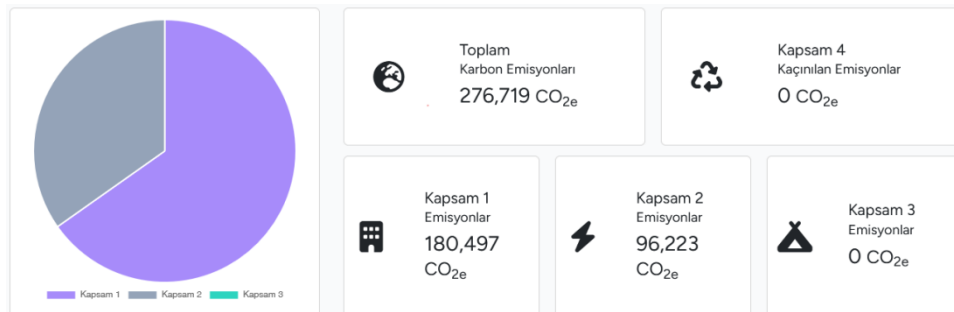
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, Ankara'nın güneşlenme süresi yılda 2611 saattir [20]. Yıllık ortalama radyasyon değeri ise 1473 kWh / m²-yıl' dir. Bir panelin ürettiği yıllık enerji miktarı 0,67 m² x 1473 kWh / m²-yıl = 986 kWh/yıl olarak elde edilmiştir.

Tüm panellerden (600 adet) elde edilebilecek enerji kapasitesi yıllık yaklaşık 590 MWh olacaktır. Ancak, evirici (inverter) ve iletim kayıpları sebebiyle toplamda %35 mertebesinde kayıp olacağını kabul ederek (evirici verimi, iletim-dağıtım verimi, standart kablo kesiti ile) bu durumda üretilen enerji değeri yaklaşık olarak 378000 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu enerji üretimi 2022 yılı tüketiminin %65'i civarındadır.



Resim-2 Güneş Paneli kurulması planlanan çevrili otopark alanı.

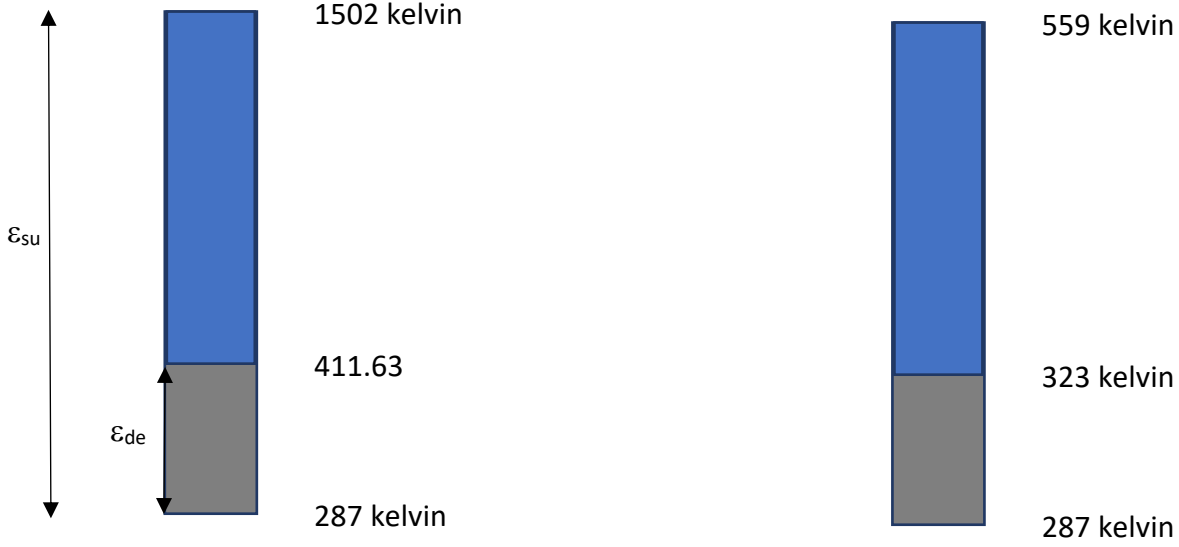
Şekil-5'de de görüldüğü gibi, elektrik tüketiminde, kurulması öngörülen güneş enerjisi sisteminden yararlanılması durumunda hesaplanan karbon emisyonu ~279 ton CO₂ olmaktadır. Isınmada kullanılan doğalgaz kaynaklı karbon salımında değişiklik olmazken, elektrik enerjisi tüketimi kaynaklı karbon salımı %64 azalarak ~96 ton civarına düşmektedir.



Şekil-5 Güneş Enerjisi Kullanımı durumunda karbon emisyonu

Ancak ekserji tabanlı verime bakıldığında, yıkıma uğrayan enerjinde oluşturacağı kayıp dikkate alınması büyük resmi görme açısından daha akılcı bir yaklaşım sunacaktır. Tablo-2'deki veriler kullanılarak öncelikle tüm elektiriği şehir şebekeden alınması durumu ve güneş enerjisi kullanılması durumu Eş.8 kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan

ekserji yıkımı ϵ_{des} , elektriğin şebekeden alınması durumu ve ihtiyaç duyulan elektriğin tamamının PV paneller ile üretimi durumu için Şekil-6'da gri renk ile gösterilmiştir.



Şekil-6 şebeke kullanımı veya PV panel ile elektrik üretimi durumları için ekserji akış çubuğu.

İdeal Carnot Çevrimi esas alınarak türetilen ekserji verimi bu durumda Eş.9 ile aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\psi_R = 1 - \left(\frac{\epsilon_{des}}{\epsilon_{sup}} \right) = 1 - \left(\frac{1 - \frac{\epsilon_{des}}{\epsilon_{sup}}}{1 - \frac{\epsilon_{des}}{\epsilon_{sup}}} \right) = 1 - \left(\frac{1 - \frac{287}{1502}}{1 - \frac{411.63}{287}} \right) = 0.6429$$

Aynı işlem güneş paneli için yapılırsa $\psi_R = 0.7711$ elde edilmektedir. Bu iki durum karşılaştırıldığında $0.6429/0.7711 = 0.8337$ değeri elde edilmektedir. Güneş panelleri kullanılması durumunda ekserji yıkımı daha az olup %17 daha az karbon emisyonu ortaya çıkacağını göstermektedir.

Bu sonuçlardan görüldüğü üzere, üniversite binalarının tasarım aşamasında bina enerji performansı simülasyonlarının yapılması, uygulamaya yön vermesi ve bu konudaki eğitimlerin müfredata dahil edilmesine ihtiyaç vardır [21].

4. Sonuç

Bu çalışmada OSTİM Teknik Üniversitesi mevcut binasının enerji tüketimi incelenerek enerji yönetimi için temel veriler sağlanmasını hedeflemiştir. Isıtma ve elektrik tüketimleri dahil olmak üzere toplam enerji ve ekserji yaklaşımıyla karbon salımı hesaplanmıştır. Üniversitesi yerleşkesinde enerjinin verimli kullanılabilceği noktalar tespit edilerek verimlilik artırıcı öneriler getirilmiştir. Üniversite binasının yaşam döngüsü süresince enerji tüketimlerini izlemek, karbon emisyonuna etkisini tespit etmek ve bunun için neler yapılabileceğini irdeleyerek, "Sürdürülebilirlik, Enerji ve Çevre Stratejisi"ni oluşturmak, buna yönelik Eylem Planı geliştirilmesi amacıyla ana sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- 2022 yılı itibari ile Karbon emisyonunun ~%60'ının elektrik enerjisinden kaynaklandığı belirlenmiştir,
- Bir önceki sene verilerinden, kurum enerji yoğunluğu elde edilmiş karbon emisyonun 443ton CO_{2e} olduğu hesaplanmıştır,
- Karbon emisyonunun Enerji üretimi santral verimi, iletim-dağıtım verimi, trafo verimi gibi bileşenler dikkate alındığında $0.76 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$ olduğu, bu durumda ise 443ton'dan daha fazla CO₂ salımı gerçekleştiği belirlenmiştir,
- PV paneller ile enerji üretimi durumunda elektrik enerjisi kullanımı kaynaklı karbon salınımının %64 daha az olduğu tespit edilmiş Ekserji tabanlı yaklaşım ile PV ile elektrik üretiminde ekserji yıkımının daha az olduğu, karbon salımının %17 civarında azalacağı sonucuna ulaşılmıştır,



Teşekkür

Bu çalışmadaki desteklerinden dolayı Ostimteknik Üniversitesi Sürdürülebilirlik Koordinatörlüğüne ve Üniversitemiz Makine Mühendisliği Öğretim Üyesi Sn. Prof.Dr. Birol KILKIŞ'a teşekkürlerimizi arz ederiz.

Kaynakça:

1. ASHRAE, (1991) Energy Management, Chapter 32, Applications Handbook (SI).
2. Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE), (2010) Bina Enerji Yöneticileri Eğitimi, Cilt1.
3. Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE), (1997) Ulusal Enerji Tasarruf Merkezi, Sanayide Enerji Yönetimi Esasları, Cilt1, Bölüm3: Enerji Yönetimi, Ankara.
4. Çomaklı K., "Atatürk Üniversitesi Isıtma Merkezinin Enerji ve Ekserji Analizi", Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2003).
5. Kilkis, B. 2021. An Exergy-Based Model for Low-Temperature District Heating Systems for Minimum Carbon Footprint with Optimum Equipment Oversizing and Temperature Peaking Mix, *Energy J.* Article EGY_121339.
6. Lozano, R. (2006). A tool for a Graphical Assessment of Sustainability in Universities (GASU). *Journal of Cleaner Production*, 14(9-11), pp. 963-972
7. Leal Filho, W., Shiel, C., Paço, A., Mifsud, M., Ávila, L. V., Brandli, L. L., & Caeiro, S. (2019). Sustainable Development Goals and Sustainability Teaching at Universities: Falling Behind or Getting Ahead of The Pack *Journal of Cleaner Production*, 232, pp. 285-294.
8. KIRBAŞ, İ. (2019). Binalarda Enerji Verimliliği Uygulamaları: MAKU Mühendislik Mimarlık Fakültesi Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(2), 141–149. <https://doi.org/10.29048/makufebed.578340>
9. Özgöztaşı, M. B. (2019). Energy And Exergy Analysis Of A Hospital Trigeneration System A Case Study: Kartal Dr. Lütfi Kırdar Training And Research Hospital [Master Degree]. Republic Of Turkey University Of Gaziantep Graduate School Of Natural&Applied Sciences.
10. Öztürk, M. (2021). Pv/T Destekli Isı Pompalı Sıcak Su Üretim Sisteminin Enerji, Ekserji Ve Ekonomik Analizi [Doktora Tezi]. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
11. Şahin Mustafa Çağrı. (2012). Konutlardaki Elektrikli Cihazların Bekleme Konumunda Elektrik Tüketiminin Ve Buna Bağlı Co2 Emisyonunun Belirlenmesi [Yüksek Lisans Tezi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
12. Sencan, M. (2014). 850 Mw Doğal Gaz Kombine Çevirim Santralinde Ekserji Ve Enerji Analizi [Yüksek Lisans Tezi]. Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü .
13. Tiryaki, G. (2017). Energy And Exergy Analysis And Performance Optimization of a Solar Power Tower System [Degree of Master of Science]. Ankara Yıldırım Beyazıt University Graduate School of Natural and Applied Sciences.
14. Tosun, A. (2019). İklimlendirme Sistemlerinde Kullanılan Cihazlar, Arızaları Ve Bunların Enerji, Ekserji Verimliliklerine Etkileri [Yüksek Lisans Tezi]. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
15. Ünal, C. (2022). Türkiye'de Enerji Sektörünün Genişletilmiş Ekserji Analizi Kullanılarak Değerlendirilmesi [Yüksek Lisans Tezi]. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
16. Ünal, F. (2009). Bir Termik Santralin Ekserji Analizi [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
17. Yaman, M. C., & Gökçen, G. (2007). Kamu Sektöründe Enerji Yönetimi: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) Örneği. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi.
18. Yıldırım Ayberk. (2022). Kamu Kurumlarında ISO 50001 Enerji Yönetim Sisteminin Kurulması: Selçuk Üniversitesi Örneği [Yüksek Lisans Tezi]. Fen Bilimleri Enstitüsü.
19. KILKIŞ, B., & KILKIŞ, Ş. (2018). Rational exergy management model for effective utilization of low-enthalpy geothermal energy resources. *Hittite Journal of Science and Engineering*, 5, 59-73.
20. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>
21. Çağlı Z.Ş., Enerji Etkin Bina Tasarımı ve Adana Örneği, Doktora Tezi, 2018.



İZMİR BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ

ESHOT GENEL MÜDÜRLÜĞÜ ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÇALIŞMALARI

Okan ULAY
Enerji ve Çevre Yönetimi Şube Müdürü
ESHOT Genel Müdürlüğü
Zafer Mah. 840 sokak No:2 Yeni Fuar Alanı 35410 Gazimir/İzmir
oulay@eshot.gov.tr

ÖZET

Günümüz koşullarında enerji gibi kıt kaynakların sonsuz ihtiyaçları karşılama noktasında yetersiz kaldığı herkes tarafından kabul edilen bir gerçekliktir. Şehirlerde yaşayan insanların temel haklarından biri olan ulaşım ihtiyacı da enerjinin yoğun kullanımını gerektirmekle birlikte, sağlanacak toplu taşıma hizmetinin şehrin yaşanabilirliğini koruyan bir yapıda sunulması gerekmektedir. Enerji verimliliği çalışmaları bu konuda sürdürülebilirlik temelinde etkin çözüm yollarından biridir.

Anahtar Kelimeler

Toplu taşıma, enerji verimliliği, belediye, net sıfır şehir, fotovoltaik, otobüs, elektrikli otobüs, yenilenebilir enerji, karbon salımı, Enerji Yönetim Sistemi, ISO 50001

SUMMARY

It is a reality accepted by everyone that in today's conditions, scarce resources such as energy are insufficient to meet endless needs. While the need for transportation, which is one of the fundamental rights of people living in cities, requires intensive use of energy, the public transportation service to be provided must be provided in a structure that preserves the livability of the city. Energy efficiency studies are one of the effective solutions to this issue based on sustainability.

Keywords

Public transport, energy efficiency, municipality, net zero city, photovoltaics, buses, electric buses, renewable energy, carbon emissions, Energy Management System, ISO 50001

1. GİRİŞ

İzmir Büyükşehir Belediyesi ESHOT Genel Müdürlüğü, sorumlu olduğu lastik tekerlekli toplu taşıma hizmetinde enerji verimliliği uygulamalarının ve net sıfır şehir hedeflerinin önemini benimsemiştir.

Bu uygulamaların amacı, toplu ulaşım hizmet sunumunda enerji tüketimini azaltmak, karbondioksit ve diğer sera gazı salımlarını düşürmek, çevresel sürdürülebilirliği artırmaktır

Net Sıfır Şehirler, sera gazı salımlarının mümkün olduğunca azaltılarak karbon ayak izinin sıfırlandığı şehirleri ifade etmektedir. İzmir, Yeşil Mutabakat ve Net Sıfır Şehirler kapsamında örnek ilk 100 şehir arasına seçilmiştir.

2. ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARI

ESHOT Genel Müdürlüğü, İzmir Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı, lastik tekerlekli toplu ulaşım hizmetini vermekte olan kamu kurumu niteliğinde bir kuruluştur.

1943'te kurulan ESHOT Genel Müdürlüğü, ilk başta Elektrik, Su, Havagazı ve Trolleybüs işletmelerini de aynı çatı altında barındırmaktaydı. Şehir içi otobüs işletme görevini aralıksız sürdüren kurum zamanla diğer hizmetleri diğer kurum ve kuruluşlara devretmiştir. İzmir Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı toplu ulaşım kuruluşlarının 'amiral gemisi' konumundaki ESHOT Genel Müdürlüğü, 80 yıldır İzmirlilerin yaşamına dokunmaktadır.



Net sıfır şehir vizyonu kapsamında, İdaremiz Gediz yerleşkesinde 835 kWe gücündeki fotovoltaik güç santralinden yararlanılmakta olup; 2017 yılından itibaren 20 adet elektrikli otobüs, toplu ulaşım hizmeti vermektedir

Enerji verimliliği uygulamaları, toplu taşıma araçları ve tesislerde enerji tüketimini optimize etmek için çeşitli stratejileri içermektedir. Burada ESHOT Genel Müdürlüğü'nde yürütülen enerji yönetim sistemi uygulamalarına değinilecektir.

4.1. Enerji Görünümü ve Enerji Yönetim Sistemi

İdare, sorumlu olduğu toplu ulaşım hizmetini sağlarken fosil yakıtlar başta olmak üzere çeşitli türlerde ve yüksek miktarda enerjiye ihtiyaç duymaktadır.

İdare'nin 2022 yılı itibariyle, elektrik tüketiminde 517 tep (0,98%), doğalgaz tüketiminde 216 tep (0,41%) ve akaryakıt tüketiminde 51.876 tep (98,61%) olmak üzere, toplam 52.609 tep miktarında enerji tüketimi söz konusudur.

İdare bünyesinde; enerji verimliliğini artırmak, enerji kullanımını azaltmak ve enerji maliyetlerini düşürmek amacıyla Enerji Yönetim Sistemi (EnYS) kurma ve geliştirme çalışmaları yürütülmektedir.

4.2. Otobüslerde Akaryakıt Tüketimini Azaltma Çalışmaları

Telemetri (Uzölçüm), bir sistem ya da tesisin uzaktan kablo veya kablosuz olarak izlenmesi veya kontrol edilmesi anlamına gelmekte olup, 364 aracın teknik verileri telemetri sistemiyle takip edilmektedir.

Solo ve körüklü otobüslerin rölantide (boşta) çalışması, telemetri sistemi üzerinden garaj, aktarma merkezleri ve son duraklarda sürücülerin rölanti performansları analiz edilmekte ve şoförlerin telefonlarına, haftalık dönemler halinde rölanti süreleri (dakika), harcanan yakıt miktarı (litre), yakıt maliyeti (TL) bilgilerini içeren SMS uyarı mesajları gönderilmektedir.

Bu kapsamda 2.267 sürücüye toplam 15.657 adet SMS gönderilmiştir. Rölanti davranışı değişmeyen sürücülerle farkındalık artırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Araçlara rölanti çalışması 5 dakikayı geçmesi halinde motorun otomatik olarak stop ettirilmesi için teknik donanımı uygun olan motora sahip 1.167 adet araca yazılım yüklenmiştir.

Sürücülerin rölanti davranışlarındaki değişimlere göre Ocak 2022 ile Eylül 2023 kıyaslandığında; araçların aylık toplam rölanti süresinin %63 oranında, araç başına günlük rölanti süresinin %59 oranında, rölantiyle tüketilen toplam yakıt miktarının ise %49 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Farkındalığın artmasıyla yapılan analizle 364 araçta yıllık 187.500 litre tasarruf edildiği hesaplanmıştır. Böylelikle 4.900 ağaçlık oksijene karşılık olarak 2 bin ton CO₂ salımın önüne geçilmiştir.

4.3. Bakım Onarım Atölyelerinde Verimlilik Çalışmaları

Atölyelerde ısıtma ve sıcak su için kullanılan kazanların doğalgaz ve motorin türlerinde karşılaştırmalı yakıt maliyet hesabı yapılmıştır. Buna göre Soğukkuyu Atölye'nin mazotlu sistemden doğalgaza dönüşümü sağlanmıştır.

Adatepe Atölye'de bulunan doğalgazlı kaskad merkezi ısıtma sisteminin yanında güneş destekli su ısıtma sistemi aktif hale getirilmiştir. Kurulan sistemle yaklaşık 6 ay boyunca sıcak su temininde doğalgaz kullanımına gerek duyulmamaktadır.

İdaremizin sahip olduğu 9 doğal gaz abonelik noktasında aylık tüketim seyrinin takibi, önceki ay-sene tüketim kıyaslaması, m³ ve TL üzerinden takip edilmekte, tespit edilen anomalilerin kaynağı ilgili birimlerle değerlendirilmektedir.

Klima talepleri, oluşturulan komisyonun teknik değerlendirmesi doğrultusunda yanıtlanmıştır.

Gediz atölye merkez kompresörün atölyenin aktif olmadığı saatlerde öğlen 12.00-12.50 saatleri arasında, gece 01.00-07.30 saatleri arasında çalışmaması için zaman ayarlı elektrik sayacı kullanımına geçilmiştir. Bu sayede 2022 yılında 41.509 kwh tasarruf sağlanmıştır.



Bakım onarım atölye sabit tesislerde ve araçlarda hava kaçaklarının doğru ve hızlı tespit edilmesi önemlidir. Bu ihtiyaç, ultrasonik hava kaçak tespit cihazı teminiyle giderilmiştir.

Atölyelerde kullanılan mevcut jak ve bağlantı elemanlarının sık sık arızalanması ve kullanılamaz hale gelmesi nedeniyle; darbe dayanımı, bağlantı ve sızdırmazlık özelliği yüksek jak ve bağlantı elemanları araştırılmıştır. Tespit edilen uygun malzemelerin temini sonrasında jak montajları yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonunda Gediz Atölye'de hava kaçak oranı %60'dan %24'e düşürülmüş; Adatepe Atölye'de %15 oranındaki hava kaçağı tamamen önlenmiştir.

İdare'nin elektrik aboneliği olan 54 noktada aylık fatura ve ara sayaçlarla gündüz, puant, gece saatlerdeki tüketim seyri, önceki ay-sene tüketim kıyaslaması, kWh ve fatura tutarı üzerinden takip, tespit edilen anomalilerin ilgili birimlerle değerlendirilmesi sağlanmaktadır.

4.4. Çalışan Görüş ve Önerileri

İdare çalışanlarının enerji verimliliği ve tasarruf konularında görüş ve önerileri, İtranet üzerinden alınmakta ve uygulanabilirliği teknik değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Çalışanlardan toplam 20 adet görüş, öneri alınmıştır.

Yapılan önerilerin konu dağılımı şöyledir:

- %75 Enerji Verimliliği
- %20 Yenilenebilir Enerji Üretimi
- %5 Su Tasarrufu

Değerlendirme sonrasında;

- Önerilerin %40'ı hâlihazırda uygulanmakta olduğu,
- Önerilerin %30'unun uygulama imkânı olmayan veya denenmiş olmasına rağmen başarılı sonuç elde edilmeyen öneriler olduğu,
- Önerilerin %30'unun ise hâlihazırda uygulama planında olan veya araştırması yapılacak öneriler olduğu değerlendirilmiştir.

4.5. STK ve Diğer Kurumlarla İşbirlikleri

Enerji Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği (ENSİA) ile imzalanan "Yenilenebilir Enerji Kaynakları/Uygulamaları ve Enerji Verimliliğine İlişkin Teknik İşbirliği Protokolü" kapsamında görüşme ve toplantılar yapılmıştır.

Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti mali iş birliği çerçevesinde finanse edilen BEST For Energy (Enerjide Etkin ve Sürdürülebilir Dönüşümün Desteklenmesi) (Proje İZKA, ENSİA ortaklığıyla uygulanmıştır.) projesi kapsamında ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi danışmanlık hizmeti alınmıştır.

BEST For Energy projesi kapsamında aşağıdaki sertifikalı eğitimler alınmıştır:

- 50001 EnYS Temel Eğitimi,
- Hoshin Kanri (Stratejik Yön Belirleme) eğitimi
- Değişimin yönetimi eğitimi
- TRIZ eğitimi
- Risk yönetimi eğitimi

Makine Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Enerji Verimliliği komisyonuyla toplantılar ve saha gezileri gerçekleştirilmiştir.

4.6. Eğitim Çalışmaları

Enerji Yönetim Sistemi çalışma ekibine yönelik ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi Temel Eğitimi alınmıştır. İdare üst yöneticilerine Enerji Yönetim Sistemi Genel Esaslar eğitimi verilmiştir. Atölye personeline hava kaçağı, klima, doğalgaz ısıtıcı kullanımı farkındalık eğitimleri ve hava kaçağı tespit cihazı kullanım eğitimleri verilmiştir. Sürücülere rölanti eğitimleri verilmiştir. Son durak ve aktarma merkezlerinde sürücü ve ulaşım takip personeline klima, ısıtıcı ve elektrik kullanımı farkındalık eğitimleri verilmiştir.



3. SONUÇ

Yerel yönetimler, enerji verimliliği uygulamaları ve net sıfır şehirlerin önemini özümseyerek bu yönde adımlar atmaktadır. Bu uygulamalar, çevresel sürdürülebilirlik, enerji tasarrufu, hava kalitesi, ulaşım erişilebilirliği ve insanların yaşam kalitesi gibi birçok alanda fayda sağlamaktadır.

Ayrıca, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik alanındaki teknolojik gelişmelerin de toplu taşıma sistemlerine entegre edilerek yaygınlaştırılması, daha temiz ve daha yaşanabilir şehirlerin oluşumunu desteklemektedir.



İÇME SUYU VE ATIK SU POMPALARINDAKİ HİDROLİK ÇÖZÜMLERİN ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ

ÖZET:

İçme suyu ve atık su pompalarında enerji verimliliğini ön planda tutan hidrolik çözümler, enerji verimliliği uygulamalarında çok önemli katkılar sağlayabilmektedir.

Enerji Tasarrufu kapsamında su ve atık su sistemlerinde enerji tüketiminin önemli bir kısmından pompalar sorumludur. Optimize edilmiş pompa tasarımları, değişken frekanslı sürücüler (VFD'ler) ve akıllı kontrol sistemleri gibi enerji açısından verimli hidrolik çözümler kullanılarak enerji gereksinimleri azaltılabilmektedir. Bu, elektrik faturalarının düşmesine, işletme maliyetlerinin düşmesine ve su ve atık su tesisleri için genel enerji tasarrufuna yol açar.

Bu çalışma içme suyu ve atık su pompalarındaki enerji verimliliği dikkate alınarak elde edilen hidrolik çözümlerin katkısı ve İZSU örneği araştırılmıştır.

GİRİŞ:

Çevresel Etki kapsamında pompalardaki enerji verimliliği, doğrudan azaltılmış bir çevresel ayak izi anlamına gelir. Hidrolik çözümler, enerji tüketimini en aza indirerek, elektrik üretimi ile ilişkili sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunur. Bu, iklim değişikliğinin hafifletilmesine yardımcı olur ve Türkiye'nin çevresel sürdürülebilirlik taahhüdünü destekler.

İşletme Verimliliği kapsamında enerji açısından verimli hidrolik çözümler, içme suyu ve atık su sistemlerinin genel işletim verimliliğini artırabilir. Optimize edilmiş pompa tasarımları ve VFD'ler daha iyi kontrol sağlar ve pompanın çıktısını sistemin gerçek talebiyle eşleştirir. Bu, fazla tedarik veya verimsiz çalışma nedeniyle enerji israfını önler. Geliştirilmiş verimlilik aynı zamanda ekipman üzerindeki aşınmayı ve yıpranmayı azaltarak ekipman ömrünün uzamasına ve bakım maliyetlerinin azalmasına yol açar.

Su Tasarrufu kapsamında pompalardaki enerji verimliliği dolaylı olarak su tasarrufu çabalarına katkıda bulunur. Enerji kayıplarını en aza indirerek ve sistem verimliliğini artırarak, pompalama sürecinde daha az su israf edilir. Bu, özellikle enerji tasarruflu pompaların su sızıntısını azaltmaya ve genel sistem performansını iyileştirmeye yardımcı olabileceği su dağıtım şebekeleri için geçerlidir.

Güvenilirlik ve Esneklik kapsamında Enerji Verimliliğine öncelik veren hidrolik çözümler genellikle gelişmiş izleme ve kontrol sistemlerini içerir. Bu sistemler anormallikleri tespit edebilir, performansı optimize edebilir ve pompa arızalarını önleyebilir. Su ve atık su hizmetleri, güvenilirliği ve dayanıklılığı artırarak kesintisiz hizmet sunumunu sağlayabilir, arıza süresini en aza indirebilir ve genel sistemin acil durumlara ve kesintilere yanıtını iyileştirebilir.

Ekonomik Faydalar kapsamında ise enerji açısından verimli hidrolik çözümler, su ve atık su tesisleri için önemli maliyet tasarruflarına yol açabilir. Azalan enerji tüketimi, altyapı yatırımları, sistem yükseltmeleri ve bakım faaliyetleri için finansal kaynakları serbest bırakabilen daha düşük işletme maliyetleri anlamına gelir. Ek olarak, enerji verimli çözümler, kamu hizmetlerinin enerji verimliliği düzenlemelerine uymasına ve potansiyel olarak finansal teşvikler ve hibeler almaya hak kazanmasına yardımcı olabilir.

Hidrolik çözümler, içme suyu ve atık su pompalarında enerji verimliliğini göz önünde bulundurarak, enerji tasarrufu, çevresel sürdürülebilirlik, operasyonel verimlilik, su tasarrufu, güvenilirlik, dayanıklılık ve



ekonomik avantajlar dahil olmak üzere çok sayıda fayda sağlayabilir. Bu tür çözümleri benimsemek, Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma hedeflerini desteklemekte ve su kaynaklarının verimli ve sorumlu yönetimine katkıda bulunmaktadır.

İZSU GENEL MÜDÜRLÜĞÜNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR:

İzsu Genel Müdürlüğü bünyesinde enerji verimliliğiyle ilgili toplamda 256 adet içmesuyu pompa istasyonundan yaklaşık 100 adet içmesuyu pompa istasyonu incelenmiş, bu inceleme sonucunda, Pompaların ekonomik ömürlerini tamamladığı, arıza sayılarının ve bakım maliyetlerinin arttığı, sistemde hidrolik kayıpların yaşandığı, % 10- % 25 arasında verim kaybına uğradığı, verim kaybı nedeniyle debi kayıplarının yaşandığı ve sonuç olarak artan enerji maliyetleri nedeniyle İdareye daha fazla ekonomik yük getirdiği tespit edilmiştir.

Enerji kayıpları incelendiğinde; verim kayıpları nedeniyle %25-40 oranında enerji maliyetlerinde tasarruf yapılabileceği hesaplanarak 2021 yılında çalışmalara başlanmıştır. Öncelikle yatay kademeli pompalar verimi daha yüksek dik millî pompalar ile değiştirilmesi planlanmıştır.

İlk etapta 29 pompa istasyonu için toplamda 77 pompa alımı gerçekleştirilmiştir. Bu istasyonların emiş hatları ve basma hatlarındaki hidrolik kayıpların azaltılması için tedbirler alınmıştır. Akabinde pano yenilemeleri de yaparak değişken frekanslı sürücüler (VFD) kullanılmıştır.

Yapılacak enerji tasarrufu sayesinde ilk yatırım maliyetinin 4 ay ile 18 ay arasında geri dönüşümünün sağlandığı tespit edilmiş olup bu nedenle ivedi olarak kayıpların çok olduğu merkezdeki 6 adet kritik pompa istasyonunda montaj işlemleri 2022 yılında tamamlanmıştır.

Örnek olarak; 2022 yılında Yeşilyurt Pompa istasyonunda yaklaşık 240.000 TL yatırım yapılarak aylık enerji tüketimi yaklaşık 69.000 Kw/saat'ten 56000 Kw/saate indirilmiştir. **Yatırım maliyetinin geri dönüş süresi yaklaşık 4 aydır.**

SONUÇ:

Yapılan çalışmalara ait yapılan hesap tabloları EK-1' de sunulmuştur. Bu çalışmalardan da görüleceği üzere kullanılan Kw cinsinden enerji ve pompa verim kayıpları artıkça yapılan tasarruf miktarının arttığı ve yapılan ilk yatırım maliyetinin geri dönüşüm süresinin düştüğü görülmüştür.

Son zamanlarda kurumumuzda da elektrik tüketiminin fazla olduğu pompa istasyonlarında yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapıldığı herkes tarafından da bilinmektedir. Ancak burada kullanılan enerjide yapılan tasarruf yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan ilk yatırım maliyetlerini de düşüreceği unutulmamalıdır. En önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerji santrallerinin geri dönüş süresinin bile ortalama 3-5 yıl olduğu düşünüldüğünde ortalama 18 aylık geri dönüş süresinin özellikle elektrik tüketiminin fazla Su kanalizasyon İdarelerinde ciddi tasarruf sağlayabileceği aynı zamanda karbon ayak izinin azaltılmasına da katkı sağlayacağı aşikardır.

Bu incelemeler sadece içmesuyu istasyonlarının bir bölümünde yapılabilmektedir. Bu aşamada tasarruf için öngörülen tutar 3 yılda toplam 200-250 milyon TL civarındadır. Bu çalışmalara atıksu pompa istasyonları,



atıksu arıtma tesisleri ve içmesuyu arıtma tesisleri dahil edildiğinde bu rakamın 500 milyon TL ulaşabileceği öngörülmektedir.

TÜRKİYE VE AVRUPA BİRLİĞİ ÜLKELERİNDE BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ STRATEJİLERİ

Timur DİZ6, Makine Yüksek Mühendisi, İZODER Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği

Yiğit Kaan AKTAŞ7, İnşaat Mühendisi, İZODER Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği

Beyza TANYOL8, İnşaat Mühendisi, İZODER Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği

ÖZET

Enerji tüketiminin zamanla artması sera gazı salımlarının da artmasını beraberinde getirmekte ve çevresel yükümlülüklerin yerine getirilmesini zorlaştırmaktadır. Ülkemiz ve AB ülkeleri; artan enerji maliyetleri, enerjide dışa bağımlılık, çevresel hedefler içeren uluslararası antlaşmalara taraf olunması vb. etkenler dolayısıyla benzer sorunlar ile karşı karşıyadır. Buna karşılık sorunların çözümü için yapılan uygulamalar dikkate alındığında ülkemizin enerji kaynakları sınırlı olmasına rağmen enerji verimliliği ile ilgili gerekli adımların yeterince hızlı bir şekilde atılmadığı ifade edilebilir.

Bu bildiride 'Binalarda Enerji Verimliliği' konusunda Avrupa Birliği ve Türkiye'deki strateji ve mevzuatlar karşılaştırılarak ülkemiz için öneriler geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, Mevzuat, Enerji Verimliliği Stratejileri

ABSTRACT

Increasing energy consumption over time brings about an increase in greenhouse gas emissions and makes it difficult to fulfill environmental obligations. Our country and EU countries; It faces similar problems due to factors such as increasing energy costs, dependence on foreign sources of energy, being a party to international agreements containing environmental targets, etc. On the other hand, when the applications made to solve the problems are taken into consideration, it can be stated that although our country's energy resources are limited, the necessary steps regarding energy efficiency are not taken quickly enough.

In this paper, recommendations have been developed for our country by comparing the strategies and legislations in the European Union and Turkey on 'Energy Efficiency in Buildings'.

Key Words: Energy Efficiency, Legislation, Energy Efficiency Strategies

1. GİRİŞ

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından açıklanan 2021 yılı Enerji Dengesi raporunda yer alan istatistikler, ülkemizde enerji tüketiminin yaklaşık 2020 yılına göre %9,1'lik artışla 123,1 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Sektörlere göre enerji tüketimi incelendiğinde konut ve hizmet sektörlerinden oluşan Bina sektörünün yaklaşık %31,1'lik

6 timur@izoder.org.tr

7 kaan@izoder.org.tr

8 beyza@izoder.org.tr

bir payla öne çıktığı görülmektedir [1]. Enerji kaynaklarına sahip olan ülkelerdeki politik istikrarsızlar, Rusya ile Ukrayna arasındaki savaş gibi nedenler hem enerji arzında problemlere hem de enerji maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Ülkemizde 2020 eylül ayında en düşük 39,30 dolar, en yüksek 46,22 dolardan alıcı bulan Brent petrolün varil fiyatı, 2021 eylül ayında en düşük 70,42 dolardan işlem gördü [2]. Enerjisinin yaklaşık %70,7'sini ithal eden ülkemizde TÜİK ve Ticaret Bakanlığı tarafından oluşturulan geçici dış ticaret istatistiklerine göre tarafından açıklanan verilere göre 2021 yılı enerji ithalatı: 50,7 milyar \$ olarak gerçekleşirken 2022 yılında toplam enerji ithalatı 96,5 Milyar \$ olarak gerçekleşmiştir. Öte yandan enerji dış ticaret açığı 2021'deki 42,4 milyar dolar seviyesinden 2022 yılında 81,1 milyar dolara çıkarak tarihi yüksek seviyeye ulaşmıştır. Enerji açığındaki söz konusu yükseliş, enerji ihracatındaki belirgin artışa karşın enerji ithalatının neredeyse iki katına çıkması sonucu gerçekleşmiştir. Enerji ithalatının milli gelire oranı 2013-2021 yılları arasında ortalama yüzde 5 olarak gerçekleşirken 2022 yılı üçüncü çeyreği itibarıyla yıllıklandırılmış olarak tarihi yüksek seviye olan yüzde 11'e yükselmiştir. [3]

Enerji fiyatlarındaki artışlar yalıtımsız binalarda yaşayan hane halkının yüksek faturalar ile karşılaşması sonucu doğurmaktadır. Enerji ithalatına ayrılan onca kaynağa rağmen TÜİK tarafından 6 Mayıs 2022 tarihinde yayımlanan "Gelir ve Yaşam Koşulları Araştırması"na göre, konutlarda yalıtımsızlık dolayı ısınamama en çok karşılaşılan konut ve çevre problemi olarak öne çıkmaktadır. Raporda Kurumsal olmayan nüfusun %34,3'ü konutunda izolasyondan dolayı ısınma sorunu, %33,9'u sızdıran çatı, nemli duvarlar, çürümüş pencere çerçeveleri vb. problemleri yaşarken, %23,4'ü trafik veya endüstrinin neden olduğu hava kirliliği, çevre kirliliği veya diğer çevresel sorunlarla karşı karşıya kaldığını ortaya koymaktadır. [4] Enerji tüketiminin zamanla artması aynı zamanda sera gazı salımlarının da artmasını beraberinde getirmektedir. Ülkemizin sera gazı salım değerleri 2021 yılı toplam sera gazı emisyonu bir önceki yıla göre %7,7 artarak 564,4 milyon ton CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Kişi başı toplam sera gazı emisyonu 1990 yılında 4 ton CO₂ eşdeğer, 2020 yılında 6,3 ton CO₂ eşdeğer ve 2021 yılında 6,7 ton CO₂ eşdeğer olarak hesaplanmıştır.[5] Buna karşılık 2016 yılında taraf olunan Paris Anlaşması uyarınca, Türkiye, ulusal katkı niyet beyanında 2030 itibarıyla sera gazı emisyonlarını mevcut durumdan yüzde 21'e kadar azaltacağını beyan etmiştir [6]. Şarm El Şeyh'de gerçekleşen 27. Taraflar Konferansı Üst Düzey Bakanlar Zirvesi'nde Türkiye Ulusal Katkı Beyanı hedefini 2030 yılı için %21'den %41'e yükseltmiştir.

AB'de "Konut" ve "Hizmet" sektörlerinden oluşan "Bina" sektörü toplam enerji tüketiminin %40,3'ünden sorumludur. AB'de enerjinin yaklaşık %55-58'i birlik dışından temin edilmektedir. AB'nin enerji bağımlılığının azaltılması ve sera gazı salımlarına dair taahhüdünün yerine getirilmesi için "bina" sektöründeki enerji tüketiminin azaltılması ve tüketimde yenilenebilir enerjinin payının artırılması gereklidir. Özetle; Türkiye ve AB'nin sorunları benzerlikler göstermektedir. Hem AB hem de Türkiye sahip oldukları enerji kaynakları ihtiyaçlarını karşılayamamakta ve enerjide dışa bağımlı olup, nihai enerji tüketiminde bina sektörü önemli bir paya sahiptir. Ayrıca küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadeleye yönelik farklı da olsa taahhütlerde bulunmuşlardır. Öte yandan AB iklim koşulları dikkate alındığında 4 mevsimi yaşayan ülkemiz ile benzerlikler taşımaktadır. Güney Avrupa'da sıcak iklim koşulları sürerken, kuzey Avrupa doğu Anadolu'ya benzer soğuk iklim kuşağındadır. Hem ülkemizin hem de AB'nin Akdeniz, Ege ve Karadeniz'e kıyıları bulunmaktadır. Son olarak Türkiye ve AB arasında 2/95 sayılı Ortak Konsey Kararı dolayısıyla teknik müktesebatin uyumlaştırılmasına yönelik bir anlaşma da mevcuttur. Dolayısıyla aynı sorunlara sahip yakın coğrafyamızda yer alan AB, oluşturulan politikalar ve alınan tedbirler yönüyle ülkemize ışık tutma potansiyeline sahiptir.

2. TÜRKİYE VE AB'DE MEVZUATLAR

Mevzuatları dikkate aldığımızda AB'de binalarda enerji verimliliğinin iyileştirilerek karbon salımlarının ve iklim değişikliğine olan etkilerinin azaltılması amacıyla 2002 yılında 2002/91/EC sayılı Binalarda enerji performansı direktif yayımlanmıştır. Türkiye'de 2002/91/EC sayılı direktif Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği'nin yayımlanmasıyla 05 Aralık 2008 tarihinde uyumlaştırılmıştır. Bu yönetmelikle 01 Ocak 2011'den itibaren yeni binaların Enerji Kimlik Belgesi alması zorunlu hale getirilmiştir. 2008 yılı referans alındığında enerji limitleri aynı olmamakla birlikte Türkiye ve AB'nin aynı yasal altyapıyı hayata geçirmiştir. Ancak AB, ilk olarak 20/20/20 hedefleri çerçevesinde enerji verimliliğinde en az %20 iyileştirilmesine yönelik politika ve Binalarda Enerji Performansı Direktifi ile desteklenen birçok eylem gerçekleştirip bu hedefi büyük ölçüde başarmasının ardından 2030 yılı için %32,5'lük yeni bir hedef belirlemiştir. Son olarak AB'de 2050 yılına kadar Karbon Nötr kiti olma hedefi tanımlanmış ve bu hedef doğrultusunda birçok faaliyet başlatılmıştır.

Ülkemizde de benzer amaçla Yüksek Planlama Kurulu tarafından 25 Şubat 2012 tarih ve 28215 sayılı resmi gazetede "Enerji Verimliliği Strateji Belgesi: 2012- 2023" yayımlanmıştır. Bu belge ile 2023 yılında Türkiye'nin GSYİH başına tüketilen enerji miktarının (enerji yoğunluğunun) 2011 yılı değerine göre en az %20 azaltılması hedeflenmektedir [7]. Bu hedefe ulaşmak için bina sektörüne özel olarak tanımlanan eylemlerden bir tanesi de aşağıda verilen "Binalara azami enerji ihtiyacı ve azami emisyon sınırlaması getirilmesi" eylemidir (SA-02/SH-01/E-01). Bu eyleme dair yapılan açıklamada TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları standardının ve yürürlükteki mevzuatın, 36 ay içerisinde AB

uygulamaları dikkate alınarak revize edilmesi ile ilgili bir stratejik eylem planlanmış ve ancak henüz gerçekleştirilememiş veya tamamlanamamıştır. “Enerji Verimliliği Strateji Belgesi: 2012-2023” kapsamında tanımlanan hedeflere ulaşılmasını desteklemek amacıyla Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı: 2017- 2023 metninde TS 825 ısıtma dışındaki diğer alanlarda kullanılan enerji ihtiyacını ve uygulamaya yönelik yönergeleri içerecek biçimde güncelleneceği ifade edilmektedir.

2.1. U Değeri: Isıl Geçirgenlik Katsayısı

TS 825 standardının 2013 yılında revize edilmiş olsa da standartta yer alan bazı hatalar dolayısıyla halen standardın 2008 yılında yayımlanan versiyonu zorunlu olarak yürürlükte tutulmaktadır. Dolayısıyla; ülkemizde 2008’den bu yana enerji verimliliği anlamında herhangi bir iyileştirme yapılamazken Avrupa Birliği birçok adım atmıştır.

Enerji limitlerini doğrudan etkileyen en önemli parametrelerden birisi “U” değerleridir. U değeri; çatı, duvar, döşeme ve pencere gibi yapı elemanlarının ne kadar ısı geçirdiğinin ölçüsüdür. Yapı elemanlarının U değerleri azaldıkça kümülatif binanın ısıtma/soğutma için ihtiyaç duyduğu enerji miktarı azalmaktadır. Buradan hareketle yapı elemanları için tanımlanan asgari ısı geçirgenlik “U” değerlerini mukayese ettiğimizde TS 825 standardında ülkemiz için tanımlanan değerlerin birçok AB ülkesinin çok gerisinde kaldığı ortaya çıkmaktadır. Aşağıda ülkemizdeki ve AB’deki bazı ülkelerin “U” değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Tablo 1: Bazı AB ülkeleri ile Türkiye’deki “U” değerleri tablosu

Ülke	U Duvar	U Tavan	U Döşeme	U Pencere
Türkiye	0,40-0,70	0,25-0,45	0,40-0,70	2,40
Almanya	0,24-0,35	0,20-0,35	0,50	1,30-1,90
Avusturya	0,35	0,20	0,40	1,40
Belçika	0,24	0,24	0,24	1,50
Danimarka	0,18-0,30	0,12-0,20	0,10-0,20	1,40-1,80
Fransa	0,35-0,45	0,22-0,30	0,21	1,90
Finlandiya	0,17	0,09-0,15	0,09-0,17	1,14-1,00
İngiltere	0,18	0,13	0,13	1,40
İtalya	0,24-0,34	0,20-0,33	0,24-0,38	1,10-2,20
İspanya	0,37-0,49	0,33-0,40	0,37-0,49	-
Litvanya	0,20	0,16	0,25	1,60
Hollanda	0,20	0,20	0,20	1,65
Norveç	0,18	0,13	0,10	1,20 - 0,80
Polonya	0,25	0,20	0,25	1,30
Çekya	0,30	0,24	0,45	1,50
Almanya	0,28	0,20	0,35	1,30
Slovakya	0,32	0,20	0,40	1,40
İsveç	0,18	0,13	0,15	1,30
Macaristan	0,45	0,25	0,3-0,5	1,60-2,00

Türkiye’de yalıtım ile ilgili yasal düzenlemelerde enerji limitlerinin AB seviyesinin çok geride kalması dolayısıyla uygulanan yalıtım kalınlıkları da farklılıklar arz etmektedir. Türkiye’deki ve benzer iklim koşullarına sahip diğer ülkelerdeki illerde uygulanan yalıtım kalınlıklarının karşılaştırıldığı tablo aşağıda verilmiştir. Dikkat edilirse AB ülkelerinin enerji verimliliği ile hedeflerine ulaşmak için daha kalın yalıtım malzemeleri kullandığı gerçeği ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde de enerji verimliliği ve çevre ile ilgili hedeflerine ulaşması için mevcut yalıtım kalınlıklarının çok üzerindeki uygulamaları hayata geçirmemiz gereklidir.

Tablo 2: Bazı AB ülkeleri ile Türkiye’deki yalıtım kalınlıkları tablosu

Şehir	Ülke	HDD	CDD	Yalıtım Kalınlığı (cm)	Türkiye’deki İller	Yalıtım Kalınlığı (cm)
Seville	İspanya	931	908	7 cm	ANTALYA	3 cm

Athens	Yunanistan	876	1020			
Lisbon	Portekiz	846	410			
Madrid	İspanya	1860	596	12 cm	İSTANBUL	4 cm
Bordeaux	Fransa	2034	184			
Florence	İtalya	1920	437			
Vienna	Avusturya	2844	221	14 cm	ANKARA	5 cm
Paris	Fransa	2702	114			
Milan	İtalya	2616	286			
Brussels	Belçika	3067	67	16 cm	KAYSERİ	7 cm
Amsterdam	Hollanda	3039	27			
Warsaw	Polonya	3747	82			
Oulu	Finlandiya	5831	11	20 cm	ERZURUM	7 cm
Tromsö	Norveç	5584	0			
Lulea	İsveç	5943	3			

Yalıtım kalınlıklarının, enerji verimliliğine etkisi çok fazla olsa da kalınlık artışının uygulama maliyetine olan etkisi oldukça azdır. Genel olarak uygulamalarda yalıtım malzemesinin maliyetinin dışında, yalıtım kalınlığından bağımsız olarak; iskele kurulumu, elektrik, su gibi alt yapı maliyetleri, yapıştırıcı, sıva, dübel, file, profil vb yardımcı malzeme maliyetleri, boya, dış cephe kaplaması, alçı levha gibi iç yüzey kaplamaları, şap gibi tamamlayıcı malzeme maliyetleri ve işçilik maliyetlerinden oluşur. Tüm bu maliyetlerin içerisinde yalıtım malzemesinin kalınlığının artırılmasından oluşacak ilave maliyeti uygulamadan uygulamaya geçmekle birlikte oldukça düşüktür. Özetle; ısı yalıtım malzemesinin performansı – ki literatürde ısı direnç olarak tanımlanır- kalınlıkla doğru orantılı artarken yalıtım malzemesinin maliyetinin, toplam maliyetteki çok daha düşük bir trend ile artmaktadır. Kalınlığa bağlı fiyat artışı ile performans artışının sektörümüzün avantajına farklı oranlarda gerçekleşmesi, maliyet etkinlik veya yaşam döngüsü analizlerinde ısı yalıtımının öne çıkmasını sağlamaktadır.

İstanbul'da 5 katlı bir apartman için güncel maliyetler ile sadece ısıtma ihtiyacı üzerinden yapılan analizlerde; mevcut TS 825 standardında tarif edilen U değerleri ve enerji limitlerine uygun yalıtımın geri ödeme süresi, bu yalıtım kalınlıklarına duvarda +4cm, çatıda +10cm, tabanda +2cm ilave edip pencerelerde 2,4 W/m²K yerine 1,6 W/m²K camlar kullanılarak üretilen çözümün geri ödeme süresinden daha fazladır. Dolayısıyla toplam maliyet ve daha kalın ısı yalıtım malzeme kullanımı ile enerji verimliliğinde sağlanan iyileşme birlikte ele alındığında mevcut TS 825 standardının maliyet etkin çözümler sunmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. TS 825 standardında tanımlanan limitlerin güncel olmamasından kaynaklanan bu sorun, U değerlerinde ve enerji limitlerinde yapılacak maliyet etkinliği esas alan iyileştirmeler ile ortadan kaldırılabılır.

2.2. Maliyet Etkin Minimum Enerji Performans Gereklilikleri ve nSEB Tanımı

2002/91/EC sayılı direktif, AB Komisyonunca; enerji performans gerekliliklerinin güçlendirilmesi ve direktifte yer alan bazı hükümlerin açıklığa kavuşturulması amacıyla 19 Mayıs 2010 tarihinde revize edilmiş ve 2010/31/EU sayılı direktif yayımlanmıştır. 2010/31/EU sayılı direktif ile yapılan değişiklikle ülkelerden oluşturulan metodoloji çerçevesinde maliyet etkin minimum enerji performans gerekliliklerini tanımlamaları istenmiştir. Ayrıca bu Direktifin 9. Maddesi üye ülkelerden;

- ❖ 31 Aralık 2020'den itibaren tüm yeni binaların,
- ❖ 31 Aralık 2018'den itibaren tüm yeni kamu binalarının neredeyse sıfır enerjili bina olarak inşa edilmelerini teminat altına almalarını talep etmektedir. [8]

Üye ülkeler, AB komisyonu tarafından atanan danışman ECOFYS şirketinin desteği ile maliyet etkin minimum enerji performans gerekliliklerine dair çalışmalarını 2016 yılında tamamlamıştır. Örneğin Slovakya'da 2013 yılında minimum enerji performans gerekliliği daireler için 126 kWh/m².yıl olarak tanımlanmıştır. Maliyet etkinlik seviyelerine dair yapılan hesaplamaların sonucunda bu limit 2016 yılında 63 kWh/m².yıl değerine çekilmiştir. Neredeyse sıfır enerjili bina gereklilikleri için 2019 yılında kamu binaları, 2021 yılından itibaren tüm yeni binalar için limit değerinin 32 kWh/m².yıl olacağı ön görülmektedir.

Maliyet etkin minimum performans gereklilikleri ile nSEB tanımının getirildiği 2010/31/EU sayılı direktif ülkemizde henüz uyumlaştırılmamıştır. AB üyesi ülkelerin maliyet etkin minimum performans gerekliliklerini belirlerken kullanmış oldukları metodoloji çerçevesinde yürütülen bu çalışmanın neticesinde ECOFYS şirketi tarafından İZODER adına Türkiye için "U-Değerleri Haritaları" Raporu hazırlanmıştır. Rapora göre mevcut ülkemizde yürürlükte olan maliyet etkin bir şekilde U

değerlerinin yaklaşık 2-2,5 kat iyileştirilmesi ile nihai enerjiden 2023'e kadar yaklaşık %7, 2030'a kadar yaklaşık %14 ve 2050'ye kadar yaklaşık %28 oranında tasarruf edilebileceği ortaya konulmaktadır. ECOFYS tarafından belirlenen maliyet etkin "U" değerleri ile yürürlükte olan TS 825:2008'deki "U" değerleri aşağıdaki mukayese tablosunda verilmiştir.

Tablo 3: Maliyet etkin U-değerleri ve mevcut TS 825:2008'deki "U" değerleri tablosu [9]

Yapı bileşeni	Maliyet etkin U-değerleri - (W/m ² .K)		TS 825:2008'deki "U" değerleri - (W/m ² .K)
	Yeni inşaatlar	Yenileme/tadilat	
Çatı: U _{çatı}	0,13-0,27	0,12-0,25	0,25-0,45
Duvar: U _{duvar}	0,17-0,35	0,17-0,35	0,40-0,70
Pencere: U _{pencere}	1,10-1,80	1,10-1,80	2,40
Döşeme: U _{döşeme}	0,26-0,57	0,25-0,51	0,40-0,70

Yapılan hesaplamalarda 2030'a kadar sağlanması öngörülen tasarruf ~%12'lik bir emisyon azaltım potansiyeline karşılık gelmektedir. Raporla talep tarafında enerji verimliliği önlemlerine odaklanılarak, Türkiye'nin Niyet Edilen Ulusal Katkı (INDC) beyanında hedeflenen %21'lik düşüşe ulaşmak amacıyla geri kalan %~9'luk açığı kapatmak için, kombine bir şekilde yenileme oranının artırılması ve daha da iyileştirilmiş U değerleri gerekli olduğu belirtilmektedir. Bu çerçevede raporda olası bir çözüm olarak, mevcut binaların yenileme oranının %0.45'ten %1'e artırılması ve 2030 yılında %2 olacak şekilde doğrusal biçimde yükseltilmeye devam ettirilmesi önerilmektedir. Geline noktada TS 825 revizyon çalışmalarının henüz başlamamış olması ve Türkiye'nin yeni Niyet Edilen Ulusal Katkı (INDC) beyanında hedefini %41'e getirmesi dolayısıyla raporda sunulan çözüm önerilerinin daha agresif bir şekilde uygulamaya sokulması gerektiği aşıkardır.

2010/31/EU sayılı direktif 2018 yılında tekrar revize edilmiştir ve 2018/844/EU sayılı direktif yayımlanmıştır. Mevcut binalarda alınması gereken tedbirlere yoğunlaşan 2018/844/EU henüz ülkemizde henüz uyumlaştırılmamıştır. 2018/844/EU sayılı direktif daha enerji verimli sistemlere doğru bina yenileme oranını hızlandıracak ve yeni binaların enerji performansını güçlendirerek onları daha akıllı hale getirecek önlemleri içermektedir. [10]

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nde 19 Şubat 2022 tarihinde yapılan değişiklikle neredeyse sıfır enerjili bina konseptine dair tanımlamalar yasal mevzuatımıza dahil edilmiştir. Yönetmeliğe göre 01 Ocak 2023 tarihinden itibaren bir parseldeki toplam inşaat alanı 5000 m²'den büyük olan tüm binaların enerji performans sınıfının en az 'B' olacak şekilde inşa edilmesi ve kullanılacak enerjinin en az yüzde 5'inin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması zorunlu hale getirilmiştir [11]. Düzenlemeyle birlikte, 5000 m²'den büyük olan yapıların halen "C" olan asgari enerji performansının "B"ye çıkarılması en az %20 oranında enerji verimliliğinde iyileşme ve ısı yalıtımında kullanılan yalıtım malzemesi kalınlıklarında da bir miktar artışı beraberinde getirmektedir. Ayrıca Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'ne göre 01 Ocak 2025 tarihinden itibaren Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar (nSEB) bina şartı 2000 m²'ye çekilirken, yenilenebilir enerji kullanım oranının ise yüzde 10'a çıkarılmaktadır. "Asgari enerji performansı 'B' olan nSEB binalar, diğer binalara göre cephelerde en az 2-3 cm, çatılarda en az 4-6 cm, döşemelerde en az 2 cm daha kalın yalıtıma ve kaplamalı yalıtım camı üniteleri ile ısı yalıtım değerleri iyileştirilmiş pencerelere sahip olan binalardır.

3. SONUÇ

Tüm raporlar, açıklamalar, istatistikler ve çalışmalar binalarda enerji verimliliğinin çok öncelikli ele alınması gereken bir konu olduğunu ortaya koymaktadır. Konutlarda kullanılan enerjinin yaklaşık %80'lik bir bölümü ısıtma ve soğutma amacıyla tüketilmektedir. Dolayısıyla "ısı yalıtımı" sağladığı verimlilikle tüm gelişmiş ülkelerin sıklıkla ve öncelikli olarak başvurduğu bir tedbirdir.

Ülkemizin enerji kaynakları sınırlı olmasına rağmen enerji verimliliği ile ilgili gerekli adımların yeterince hızlı bir şekilde atılmadığı ifade edilebilir. Türkiye, Avrupa kıtasında en hızlı büyüyen bina stokuna sahip ülkedir. AB'de neredeyse sıfır enerji binalara geçiş başlamışken, mevcut standartlarımıza baktığımızda ülkemizde halen bir metrekarelik bir alanın ısıtılması için harcanmasına izin verilen yıllık enerji miktarı, gelişmiş ülkelerin çok üzerindedir. Gelişmiş ülkelerde tanımlanmış U değerleri ile ülkemizde tavsiye edilen U değerlerini mukayese edildiğinde, ülke olarak daha verimli çözümlere yönelmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde enerji tüketimine dair sadece TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları standardında tanımlanan net ısıtma enerjisi ihtiyacına yönelik limit değerler tanımlanmıştır. Ülkemiz 4 mevsimi yaşayan bir coğrafyada olmasına rağmen sadece ısıtma için tüketilen net enerji miktarına yönelik sınırlamalar



getirilmiştir. Örneğin Antalya'daki bir konut ısıtma ihtiyacı dikkate alınarak ısı yalıtım projesi hazırlanmaktadır. Soğutma ihtiyacının tayinine yönelik metodolojinin ilave edilmesi amacıyla TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları Standardının 2019 yılı içerisinde revizyon çalışmaları başlatılmıştır. Revizyon çalışmaları tamamlandığında dört mevsimi yaşayan ülkemizin soğuk bölgelerimizde ısıtma ihtiyacına, sıcak bölgelerinde ise soğutma ihtiyacına göre tasarım yapılmasına imkân sağlanmış olacaktır. Standartta yapılan değişikliklerin neticesinde hem ısıtma hem de soğutmaya ele alacak yeni metodolojiye göre yeni enerji limitlerinin tayin edilecektir. Birçok gelişmiş ülkede binalar ısıtma ve soğutmaya yönelik yıllık enerji tüketimi 30-50 kWh/m².yıl olacak şekilde yalıtımlı olarak tasarlanarak inşa edilmektedir. Ülkemizde ise ortalama enerji tüketimleri 120-150 kWh/m².yıl seviyesindedir. TS 825 standardının tamamlanması ile enerji verimliliği anlamında AB ile aramızdaki mesafeyi kapatacak esaslı adımları atarak cesur bir şekilde enerji limitlerinin belirlenmesi gerekmektedir. "Enerji Verimliliği Strateji Belgesi: 2012- 2023" kapsamında tanımladığı üzere ülkemizde de bir an önce U değerleri iyileştirilerek AB seviyesine getirilmelidir.

Ayrıca çevreye duyarlı ve enerji verimli bir yapılaşma için 2025 yılı beklenmeden tüm binaların nSEB konseptinde yapılmalıdır. İlk aşamada deprem konutlarının nSEB konseptinde yapılması ile kamunun özel sektöre örnek ve öncü olması sağlanmalı ve enerji verimliliği, çevreye duyarlılık ve yenilenebilir enerjiden yararlanılması yönleriyle projenin sosyal etkisi artırılmalıdır. Afet bölgesindeki 11 ilde başlayan bu yaklaşım 81 ile genişletilerek nSEB konseptinde yerel ve yatay mimaride yapılacak sosyal konutlar ile binalardan kaynaklanan sera gazı salımları azaltılmalıdır.

Ülkemizdeki ısı yalıtımıyla ilgili yasal düzenlemeler 14 Haziran 2000 tarihinden sonra yapılan binaları kapsamaktadır. 2000 yılında yapılan bina sayımına göre ülkemizde 16 milyonun üzerinde konut bulunmaktadır. Günümüzde hane sayısının 22 milyon'un üzerindedir. Dolayısıyla mevzuatların yayımlandığı tarihten günümüze kadar yapılan tüm konutların tam anlamıyla mevzuat çerçevesinde yalıtıldığı varsayılrsa dahi hala binalarımızın yaklaşık %75-80'ninin enerji verimliliği ile ilgili yasal düzenlemelerin kapsamının dışında olduğu ifade edilebilir. Dolayısıyla Türkiye'de enerji verimliliği ile ilgili olarak mevcut bina stokunun iyileştirilmesi kritik öneme haiz olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla mevcut binaların enerji verimli hale getirilmesi için teşvik mekanizmaları hayata geçirilmelidir. Kentsel dönüşüm uygulamaları ile verimsiz mevcut bina stokunun, güncel mevzuatlara uygun olarak yeniden inşa edilmesi sağlanacağı için enerji verimliliği açısından önümüzde bulunan büyük bir fırsattır. Kentsel dönüşümle yeniden inşa edilmesi hedeflenen konut sayısı 6,7 milyon' dur. Bir an önce mevzuatta tanımlanan enerji limitleri düşürülmeli ve Kentsel dönüşüm ile enerji verimliliği çok daha iyi olan konutların üretilmesi fırsatı kaçırılmamalıdır.

4. KAYNAKÇA

- [1] 2021 Yılı Ulusal Enerji Denge Tabloları
- [2] Dışişleri Bakanlığı, Türkiye'nin Uluslararası Enerji Stratejisi Raporu
- [3] Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası Enflasyon Raporu 2023-I
- [4] TÜİK, Gelir ve Yaşam Koşulları Araştırması, Mart 2023
- [5] TÜİK, 2023 Sera Gazı Emisyon Envanteri Raporu
- [6] Türkiye Ulusal Niyet Katkı Beyanı (INDC)
- [7] Yüksek Planlama Kurulu, "Enerji Verimliliği Strateji Belgesi: 2012- 2023", 25 Şubat 2012
- [8] AB Komisyonu, 2010/31/EU Energy Performance of Buildings Directive, 2010
- [9] ECOFYS, Türkiye U değerleri Haritası Raporu, 2015
- [10] AB Komisyonu, 2018/844/EU Energy Performance of Buildings Directive, 2010
- [11] Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 2022

BİNALARDA ENERJİ PERFORMANSI YÖNETMELİĞİ ve NEREDEYSE SIFIR ENERJİLİ BİNALAR

Özet: Bakanlık olarak yürüttüğümüz faaliyetler çerçevesinde, özellikle Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği ve akabinde yürürlüğe giren Enerji Kimlik Belgesi sistemiyle birlikte binalarımızın enerji verimliliğinde kayda değer ilerleme kaydedildi. Bu bağlamda ortalama 180 kWh/m²/y olan enerji tüketimi 2021 tarihi itibarıyla 125 kWh/m²/y seviyelerine



gerilemiştir. Enerji verimliliğine dair yönetmelikleri, yürürlükteki uygulamaları geliştirerek, yeni politikalar üreterek, binalarımızı daha sürdürülebilir hale getirmeye çalışmaktayız. Yakın zamanda yürürlüğe giren Neredeyse Sıfır Enerjili Bina hükümlerinin de katkısıyla yukarıda bahsi geçen tüketim değerini kısa vadede 70 kWh/m²/y seviyelerine indirmek, uzun vadede ise net sıfır sonucuna ulaşmayı hedeflemekteyiz.

1. Görevlerimiz

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Mesleki Hizmetleri Genel Müdürlüğüne bağlı Enerji Verimliliği ve Tesisat Daire Başkanlığı olarak esas görevimiz, binalarda enerji verimliliğine dair mevzuat geliştirme ve yürürlüğe konulan uygulamaların izlenmesidir. Bu bağlamda 2011 yılında yürürlüğü giren Enerji Kimlik Belgesi sisteminin uygulanması (BEP-TR), Merkezi Isıtma Sistemlerinde gider paylaşım uygulamasının sağlanması ve son olarak Yeşil Bina ve Yeşil Yerleşmeler için sertifikalandırma sistemi (YES-TR) oluşturulması ve yönetilmesi başlıca çalışma alanlarımızdır. Ayrıca, ulusal ve uluslararası ölçekte binalarda enerji verimliliği projelerinin planlanması, uygulanması ve yürütülmesi de sorumluluk sınırlarımız içerisinde yer almaktadır.

2. Mevzuat

Enerji Verimliliği Kanunu kapsamında yürürlüğe giren yönetmeliklerimiz ve bu yönetmeliklerin uygulanması ve takibine dair tebliğler aşağıda yer almaktadır:

- Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği
 - Enerji Kimlik Belgesi Uzmanlarına ve Eğitici Kuruluşlara Verilecek Eğitimlere Dair Tebliğ
 - Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ
- Merkezi Isıtma ve Sıcak Su Sistemlerinde Giderlerin Paylaştırılmasına İlişkin Yönetmelik

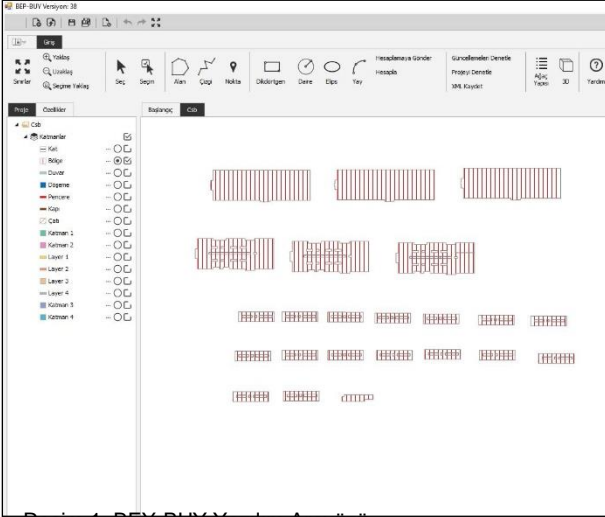
Bunların dışında tarafımızca oluşturulan yerel yeşil sertifika sistemine ilişkin usul ve esaslar ortaya koyan Binalar ve Yerleşmeler için Yeşil Sertifika Yönetmeliği mevcuttur.

3. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, binalarda enerjinin ve enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılmasına, enerji israfının önlenmesine ve çevrenin korunmasına ilişkin usul ve esasları düzenlemek amacıyla oluşturulup, 05.12.2008 tarihli ve 27075 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanmıştır. Bu yönetmelik ile mevcut ve yeni binaların minimum enerji performans kriterleri belirlenmiş, 2011 yılında yürürlüğe giren Binalarda Enerji Performansı Uygulaması (BEP-TR) aracılığıyla değerlendirme işlemleri başlatılmıştır. Uygulama kapsamında 2011 ve öncesine ait yapılara "mevcut yapı" denilirken, 2011 sonrası yapılar "yeni yapı" olarak adlandırılmaktadır. Yönetmelik kapsamındaki binaların, bahsi geçen enerji performansı değerlendirmesi sonucunda Enerji Kimlik Belgesi alması zorunlu hale getirilmiştir.

3.1. Enerji Kimlik Belgesi

Enerji Kimlik Belgesi (EKB), binanın enerji ihtiyacı ve enerji tüketim sınıflandırması, yalıtım özellikleri, ısıtma ve/veya soğutma sistemleri, yenilenebilir enerji sistemleri ile ilgili bilgileri içeren belgedir. Bakanlık sunucuları üzerinden çalışan BEP-TR yazılım programı ve yazılımın masaüstü uygulaması BEP-BUY aracılığıyla Bakanlığımızca yetkilendirilmiş kuruluşlara bağlı EKB uzmanları tarafından oluşturulur. Enerji Kimlik Belgeleri yine Bakanlığımızca yetkilendirilen İl Müdürlüğü Denetçileri tarafından denetlenir.



Resim 1: BEY-BUY Yazılım Arayüzü

hesaplanması (kWh/m²), hesaplanan enerji CO₂e emisyonunun belirlenmesi, bu emisyon yerel referans bina ile kıyaslanması, ve sonuca göre arası bir enerji performans / sera gazı emisyonu yerleştirilmesi ile gerçekleşir.

Enerji Kimlik Belgesi, Enerji Verimliliği Kanunu yönetmelik kapsamındaki tüm binalarda zorunlu hale getirilmiştir. Öncelikle yapının ruhsat alınma aşamasında Enerji Kimlik Belgesinin özet hesaplama sonucu niteliğinde olan “Ön Hesap Sonuç Formu” (Resim 2), ruhsat vermeye yetkili idare tarafından talep edilir. Sonrasında yine aynı yazılım üzerinden temin edilen Enerji Kimlik Belgesinin, binanın yapı kullanma izin belgesi (iskan) başvurusunda ilgili yerel idareye ibraz edilmesi gerekir.

Enerji Kimlik Belgesi toplamda 3 sayfadan oluşur. İlk sayfasında (Resim 3) binanın toplam alanı, adresi, UAVT numarası gibi temel bilgileri, oluşturulan yapı modelinin 3D görüntüsü, binanın enerji performans ve sera gazı emisyon sınıfı, binanın yenilenebilir enerji kullanım oranı ve tüm tüketim kategorilerini içeren detaylı enerji tüketimleri yer almaktadır. İkinci sayfasında (Resim 4) toplam kat adedi, detaylı yapı alanı gibi özellikleri ile birlikte bina dış kabuğunda en fazla kullanılan yapı bileşenleri bulunur. Belgenin son sayfasında ise, yapının mekanik sistem detaylarına yer verilmiştir (Resim 5). Ayrıca Enerji Kimlik Belgesinin her sayfasında belgenin ve belgeyi düzenleyen EKB uzmanının bilgileriyle birlikte; ilgili EKB'nin kolayca kontrolünün yapılmasını sağlayan belgeye özel QR kodu bulunur.



ÖN HESAP SONUÇ FORMU

Binanın
Tipi: İdari Bina / Kamu
İnşaat Ruhsat Tarihi: 01-01-2014
Toplam Alan: 153.469,00
İklimlendirilen Alan: 79.449,41
UAVT Bina No: 710930918
Adresi: MUSTAFA KEMAL MAH. DUMULPINAR BULVARI NO: 278 ÇANKAYA/ANKARA ÇANKAYA / ANKARA

Binanın Görüntüsü


ENERJİ PERFORMANSI
Sınıf: A 0-39
Oran: 55

SERA GAZI EMİSYONU
Sınıf: A 0-39
Oran: 51

YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIM ORANI
Oran: % 24,30

SİSTEMLER	YILLIK ENERJİ TÜKETİMLERİ	YENİLENEBİLİR ENERJİ/KOJEN ENERJİ
	Bina Alan Başına (kWh/m ² y)	Bina Alan Başına (kWh/m ² y)
Toplam	4.589.619,85	57,77
Isıtma	2.615.869,92	32,92
Sıhhi Sıcak Su	3.267,70	0,04
Soğutma	438.190,13	5,52
Havalandırma	205.202,95	2,58
Aydınlatma	2.229.394,92	28,06
Kojenerasyon	1.748.501,35	22,01
Fotovoltaik		1.184.212,28
		14,91
		1.466.594,84
		18,46

Belge Düzenleyenin
Adı Soyadı: _____ Tarih: _____
Firması: _____ İmza: _____
Sertifika No: _____

Yapı ruhsatına esas projeye ve eklerine göre düzenlenmiş olup, Enerji Kimlik Belgesi yerine kullanılamaz.

Binaların Enerji Kimlik Belgesi alabilmesi; BEP-BUY üzerinden yıllık enerji tüketiminin

değerine göre değerlerinin binanın A-G sınıfına

gereği ilgili

ENERJİ KİMLİK BELGESİ

Binanın	Belgenin	Binanın Görüntüsü
Tipi: İdari Bina / Kamu	Veriliş Tarihi: 3.10.2022	
İnşaat Ruhsat Tarihi: 1.1.2014	Geçerlilik Tarihi: 3.10.2032	
Tadilat Tarihi: 1.8.2022	Performans Sınıfı: B	
Toplam Alan: 153.469,00	Emisyon Sınıfı: B	
Ada/Parsel/Pafta: 27030 / 19		
UAVT Bina No: 710930918		
Adi: TC ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI ANA HİZMET BİNASI		
Adresi: MUSTAFA KEMAL MAH. DUMLUPINAR BULVARI NO: 278 ÇANKAYA/ANKARA		
	Sahibinin Adı Soyadı: ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAK	



SİSTEMLER	YILLIK ENERJİ TÜKETİMLERİ		YENİLENEBİLİR ENERJİ/ KOJEN . ENERJİ		SINIFI
	Birincil (kWh/yıl)	Birim Alan Başına (kWh/m ² .yıl)	Birincil (kWh/yıl)	Birim Alan Başına (kWh/m ² .yıl)	
Toplam	4.390.729,99	55,26	1.473.126,58	18,54	B
Isıtma	2.715.078,57	34,17	2.917,25	0,04	B
Sıhhi Sıcak Su	3.267,70	0,04	3.614,49	0,05	B
Soğutma	502.935,30	6,33	0,00	0,00	D
Havalandırma	277.590,92	3,49			E
Aydınlatma	1.778.871,83	22,39			B
Kojenarasyon	1.795.883,25	22,60	1.216.302,75	15,31	
Fotovoltaik			1.466.594,84	18,46	

Belgenin	Belge Düzenleyenin	Kare Kod
Numarası: M19064EA678FA	Adı Soyadı: HÜSEYİN NAMIK SANDIKCI	
Veriliş Tarihi: 3.10.2022	Firması: ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI (MESLEKİ HİZMETLER GENEL MÜDÜRLÜĞÜ)	
Son Geçerlilik Tarihi: 3.10.2032	Sertifika No: 0000000001	
İptal Edilen EKB No: Y19064174444F	İmza:	

ENERJİ KİMLİK BELGESİ

BİNA BİLGİLERİ

Toplam Kat Adedi:	23	Duvar Ağırlıklı U Değeri:	0,25	LEJANT:	■ Bina dışı bölge	■ Bina içi bölge	■ Toprak
Bodrum Kat Adedi:	3	Kolon Ağırlıklı U Değeri:	0,23	■ Sıvalar, Şaplar ve Diğer Harç Tabakaları			
Ortalama Kat Yüksekliği(m):	4,18	Kiriş Ağırlıklı U Değeri:	0,00	■ Isı Yalıtım Malzemeleri			
Toplam Bina Alanı (m ²):	153.469,00	Taban Döşeme Ağırlıklı U Değeri:	0,35	■ Yapı Plakaları ve Levhalar			
İklimlendirilen Alan(m ²):	79.449,41	Konsol Döşeme Ağırlıklı U Değeri:	0,00	■ Beton Yapı Elemanı			
Net Alan (m ²):	76.681,37	Çatı Ağırlıklı U Değeri:	0,27	■ Kaplamalar			
Toplam Zon Adedi:	76	Pencere Ağırlıklı U Değeri:	2,10	■ Kagir Duvarlar (Harç fugaları-derzleri dahil)			
İklimlendirilen Zon Adedi:	21	Kapı Ağırlıklı U Değeri:	4,00				

BİNA DIŞI KABUĞUNDA EN FAZLA KULLANILAN YAPI BİLEŞENLERİ

Toplam Dış Duvar Alanı(m²): 18.715,45

Tipi:	Dolgu Duvar	Dolgu Duvar	Dolgu Duvar
Alanı(m ²):	10147,28	7756,45	811,72
U Değeri:	0,26	0,24	0,23
Kalınlık(m):	0,03 / 0,40 / 0,12 / 0,01	0,01 / 0,00 / 0,02 / 0,15 / 0,02	0,03 / 0,19 / 0,15

Toplam Dış Betonarme Eleman Alanı(m²): 15.797,76

Tipi:	Kolon/B.arme	Kolon/B.arme
Alanı(m ²):	14810,40	987,36
U Değeri:	0,23	0,26
Kalınlık(m):	0,03 / 0,19 / 0,15	0,03 / 0,40 / 0,12 / 0,01

Toplam Döşeme Alanı(m²): 21.587,86

Tipi:	Temel	Toprak Teması
Alanı (m ²):	21393,54	96,97
U Değeri:	0,35	0,35
Kalınlık(m):	0,03 / 0,04 / 0,07 / 0,01 / 0,09	0,03 / 0,04 / 0,07 / 0,01 / 0,09

Toplam Çatı Alanı(m²): 21.560,45

Tipi:	Teras
Alanı(m ²):	21472,59
U Değeri:	0,27
Kalınlık(m):	0,03 / 0,05 / 0,01 / 0,12

Toplam Pencere Alanı(m²): 15.179,44

Tipi	Alanı(m ²)
Low E Kombinasyonlu Yalıtım Camları (Rensiz reflektif kaplamalı) (6+6mmArç Alüminyum Çerçeve	15179,44

Belgenin	Belge Düzenleyenin	Kare Kod
Numarası:	M19064EA678FA	Adı Soyadı: HÜSEYİN NAMIK SANDIKCI
Veriliş Tarihi:	3.10.2022	Firması: ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI (MESLEKİ HİZMETLER GENEL MÜDÜRLÜĞÜ)
Son Geçerlilik Tarihi:	3.10.2032	Sertifika No: 0000000001
İptal Edilen EKB No:	Y19064174444F	İmza:



ENERJİ KİMLİK BELGESİ

MEKANİK SİSTEMLER

İklimlendirilen Zon Adedi: 21

Binanın Isıtma Sistemi		Sıcak Su Sistemi	
Bağlı Zon Adedi:	21		1
Sistemin Konumu:	Merkezi		Merkezi
Sistemin Tipi:	Yoğuşmalı Kazanlar		Yoğuşmalı Kazanlar
Sistemin Gücü (kW):	4941		3
Yakıt tipi:	Doğal Gaz		Doğal Gaz
Güneş Enerjisi Katkısı:	Var		Var
Binanın Soğutma Sistemi		Havalandırma Sistemi	
Bağlı Zon Adedi:	19	1	Bağlı Zon Adedi: 1
Sistemin Konumu:	Merkezi	Merkezi	Sistemin Tipi: Besleme ve Egzoz Havalanc
Sistemin Tipi:	Su Soğutmalı	Su Soğutmalı	Isı Eşanjörü: Var
Sistemin Gücü (kW):	53	18	
Aydınlatma Sistemi			
En Fazla Kullanılan Armatür Tipi ve Adedi		En Fazla Kullanılan Lamba Tipi ve Adedi	
A (Çıplak) - 76		LED10G-1000 (10 W) (1000 lümen)	
Toplam Aydınlatma Gücü (W): 371.680,00		37168	
Toplam Aydınlatma Lümeni: 37.168.000,00			

Kojen Sistemi Üretilen Enerji		Fotovoltaik Sistem Üretilen Enerji	
Isı Geri Kazanımı (kWh):	850.323,51	Birincil Enerji Kazancı % 15,08	Pik Güç (kW): 718
Elektrik Güç Çıktısı (kW):	400		Alan (m ²): 12325
Isıl Güç Çıktısı (kW):	500		
Yakıt Tüketimi (kW):	1056		
Yakıt Tipi:	Doğal Gaz		

TAVSİYELER / AÇIKLAMALAR

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği Kapsamında NSEB şartlarını sağlamaktadır.

Bu proje aynı UavtNo'lu projeleri geçersiz kıldı. Eski Sertifika No: Y19064174444F

Belgenin		Belge Düzenleyenin		Kare Kod
Numarası:	M19064EA678FA	Adı Soyadı:	HÜSEYİN NAMIK SANDIKCI	
Veriliş Tarihi:	3.10.2022	Firması:	ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ BAKANLIĞI (MESLEKİ HİZMETLER GENEL MÜDÜRLÜĞÜ)	
Son Geçerlilik Tarihi:	3.10.2032	Sertifika No:	0000000001	
İptal Edilen EKB No:	Y19064174444F	İmza:		

4. BİNALARDA ENERJİ PERFORMANSI YÖNETMELİĞİ “NSEB” DEĞİŞİKLİĞİ

Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde 19/2/2022 tarihinde yapılan değişiklikle “Neredeyse Sıfır Enerjili Bina (NSEB)” tanımı yapıldı; Bu bağlamda NSEB, yüksek enerji performansına ve belli oranda yenilenebilir enerji kullanımına sahip olan binayı ifade etmektedir.

NSEB hükümleri 1/1/2023 tarihinde yürürlüğe girmiş olup, toplam yapı inşaat alanı **5000 m² ve üzeri**9 olan binaların NSEB olarak inşa edilmesi zorunlu hale gelmiştir.

Binaların NSEB niteliğine sahip olabilmesi için aşağıdaki şartların yerine getirmesi gerekmektedir:

- Enerji Kimlik Belgesindeki enerji performans sınıfının **B veya daha iyi** olması
- Birincil enerji ihtiyacının **en az %5’ini**10 yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlaması

5. BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ GELİŞİM SÜRECİ

Daire faaliyetleri kapsamında yürüttüğümüz çalışmalar sayesinde 2011 yılı öncesi ortalama 180 kWh/m²/y olarak hesaplanan enerji kullanımı, özellikle 2011 yılında BEP-TR uygulamasının yürürlüğe girmesiyle 2021 yılında 180 kWh/m²/y değerine gerilemiştir (Resim 6). 2023 yılında yürürlüğe giren NSEB hükümlerinin etkisiyle 2030’a kadar bahsi geçen enerji tüketim değerini 70 kWh/m²/y seviyelerine düşürmeyi hedeflemekteyiz. Nihai hedefimiz ise 2050 yılında binalarımızı, tükettiği enerjinin tamamını yenilenebilir kaynaktan sağlayan net sıfır binalara dönüştürmektir.

Bu noktada belirtmek gerekir ki, 2017-2023 Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planının binalar bölümünde yer alan eylemlerin %95’ine tamamlamış olup, kalan eylemler üzerinde çalışmaya devam etmekteyiz. Ayrıca 2024-2030 Eylem Planında da aktif rol almayı planlamaktayız.



Resim 6: Binalarda Enerji Verimliliği Gelişim Süreci Diagramı

9 Bu limit 1/1/2025 tarihinden sonra **2000 m² ve üzeri** olarak uygulanacaktır.

10 Bu oran 1/1/2025 tarihinden itibaren **%10** olarak uygulanacaktır.

6. BİNALAR İÇİN YEŞİL SERTİFİKA SİSTEMİ

Doğayla uyumlu ve iklim verilerine uygun, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanan, enerjiyi ve suyu verimli kullanan, tabiata salınan zararlı gazları en az seviyede olan, atıklarını ayrıştıran ve atık yönetimi olan, yapının arazi seçimden yıkımına yaşam döngüsünün dikkate alındığı, bütünlük tasarım yaklaşımı doğrultusunda tasarlanan binalar **Yeşil Bina** olarak nitelendirilmektedir.

Bakanlığımızca yetkilendirilen kuruluş tarafından yapılan değerlendirme sonrası, gerekli şartları sağlayan yeşil binaların/yerleşmelerin aldığı belgeye ise **Yeşil Sertifika** (Resim 7 & 8) denilmektedir.

Yeşil Sertifikaya ilişkin usul ve esaslar ortaya koyan **Binalar ve Yerleşmeler için Yeşil Sertifika Yönetmeliği** 12/06/2023 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Halihazırda zorunlu değildir.

Yeşil Sertifika Sistemi bir binayı; Bütünlük Bina Tasarım, Yapım ve Yönetimi (BBT), Yapı Malzemesi ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YMD), İç Ortam Kalitesi (İOK), **Enerji Kullanımı ve Verimliliği (EKV)**, Su ve Atık Yönetimi (SAY) ve İnovasyon Bina (INO) olmak üzere altı temel kategoride değerlendirmekte olup (Resim 8), başta enerji verimliliği olmak üzere yapıyı birçok açıdan daha sürdürülebilir hale getirmeyi hedefleyen bir uygulamadır.

Sefa KELEŞ - Yüksek Mimar



Resim 7: Yeşil Sertifika (Bina) İlk Sayfa
sefa.keles@csb.gov.tr

YENİ KONUT		alan	toplam	alan	toplam
		metrekare	metrekare	metrekare	metrekare
BBT Bütünlük Bina Tasarım, Yapım ve Yönetimi					65
BBT 01 Proje Planlama	6	10	0,50	1,50	
BBT 02 Bütünlük Tasarım	25	43	3,75	6,45	Uzman Adı Soyadı: Mesleği: /İmza/
BBT 03 Yapım ve İşletme Süreçleri Hedeflerinin	2	2	0,50	0,50	
BBT 04 Yapım	14	20	2,10	3,00	
BBT 05 Formül, İşletmeye Alma ve İzleme	8	10	1,20	1,50	
BBT 06 İşletme, Bakım, Çözüm ve Teslim Yönetimi	5	15	0,75	2,25	
Toplam:		65	100	8,00	15,00
YMD Yapı Malzemesi ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi					56
YMD 01 Yapı Malzemesi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (CDO) ve Çevre Döngü Değerlendirmesi (CDD)	18	26	2,88	5,76	Uzman Adı Soyadı: Mesleği: /İmza/
YMD 02 Sağlıklı Döngü Değerlendirmesi (SDDE)	9	15	1,44	2,40	
YMD 03 İklimsel Performans Sistemi	2	2	0,20	0,20	
YMD 04 Sorumlu Kaynak Kullanımı	5	8	0,80	1,28	
YMD 05 Yenilenebilir Enerji Kullanımı	4	6	0,64	0,96	
YMD 06 Yeniden Kullanım, İşletim ve de Çözüm Döngüsünün Müdahale Kullanımı	14	20	2,24	4,16	
YMD 07 Dayanıklı Malzeme Kullanımı	6	9	0,96	1,44	
Toplam:		66	100	8,96	16,00
İOK İç Ortam Kalitesi					52
İOK 01 Genel Konfor	10	28	2,00	5,80	Uzman Adı Soyadı: Mesleği: /İmza/
İOK 02 İşletme Konfor	18	28	3,00	5,80	
İOK 03 İşletme Konfor	10	28	2,00	5,80	
İOK 04 Hava Kalitesi	14	16	2,80	3,20	
Toplam:		52	100	10,40	20,00
EKV Enerji Kullanımı ve Verimliliği					70
EKV 01 Bina enerji performansı	50	75	12,50	18,75	Uzman Adı Soyadı: Mesleği: /İmza/
EKV 02 Yenilenebilir Enerji Tabanlılığı	20	25	5,00	6,25	
Toplam:		70	100	17,80	25,00
SAY Su ve Atık Yönetimi					68
SAY 01 Su yönetimi	33	50	7,80	12,00	Uzman Adı Soyadı: Mesleği: /İmza/
SAY 02 Atık yönetimi	35	50	6,40	12,00	
Toplam:		68	100	14,32	24,00
GENEL TOPLAM:					77,40 / 100,00
INO İnovasyon Bina					25
INO 01 Yenilikçi Uygulamalar	10	33	1,00	3,30	Uzman Adı Soyadı: Mesleği: /İmza/
INO 02 Sürdürülebilirlik	15	67	1,45	6,70	
Toplam:		25	100	+2,45	10,00

Resim 8: Yeşil Sertifika (Bina) İkinci Sayfa

Enerji Verimliliği ve Tesisat Dairesi

ÇŞİDB Mesleki Hizmetler Genel Müdürlüğü

Mustafa Kemal Mahallesi No: 278 Çankaya, Ankara

+90 312 410 79 61 I



tmmob
makina mühendisleri odası

KENTSEL DÖNÜŞÜMDE ENERJİ ETKİNLİĞİ: ZEYTİNBURNU - SAHİLPARK PROJESİ ÖRNEĞİ

Ş. Merve ARSLANKAYA* - Ş. Filiz AKŞİT**

* Yüksek Mimar, Kocaeli Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü, saziymerveyilmaz@hotmail.com

** Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, aksitf@itu.edu.tr

ÖZET

Enerji üretiminin büyük bölümünü içeren fosil enerji kaynaklarının tükenme tehlikesi, bu kaynakların neden olduğu çevresel kirlilik ve artan enerji maliyetleri nedeniyle enerjinin verimli kullanılması kaçınılmazdır. Farklı kentsel sorunlara çözüm olan kentsel dönüşüm, yerleşme birimlerinde enerjinin verimli kullanılması konusunda fırsat olarak değerlendirilebilecek bir kavramdır. Bina ömrü göz önüne alındığında, alınacak doğru kararlar önümüzdeki onlarca hatta yüz yılı etkileyecek sonuçlar doğuracaktır. Çalışmada, İBB yürütücülüğünde gerçekleştirilen Zeytinburnu Pilot Projesi kapsamında inşa edilen Sahilpark Projesi ele alınmıştır. Proje özellikleri belirlenerek değerlendirilmiş ve sonuçlar tartışılarak önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Enerji verimliliği, kentsel dönüşüm.

SUMMARY

Threat of the extinction of fossil energy sources that contain most of the energy production, environmental pollution caused by these resources and increasing energy costs cause to be unavoidable efficient use of energy. Urban transformation, which is a solution to different urban problems, is a concept which can be considered as an opportunity to use energy efficiently in settlement units. Given the life of the building, the right decisions to take will have consequences that will affect the next tens or even hundred years. In the study, the Sahilpark Project, which was built under the Zeytinburnu Pilot Project conducted by IMM, was discussed. Project features were determined and evaluated, and the results were discussed and suggestions were made.

Key Words: Energy efficiency, urban transformation.

1. GİRİŞ

Yakın tarihimizde insan hayatını en çok etkileyen olgulardan biri olan Sanayi Devrimi; siyasi, sosyal, ekonomik, çevresel birçok sonuç doğurmuştur. Bu sonuçlar neticesinde bir takım sorunlar da ortaya çıkmıştır.



Sanayi Devrimi sonrası yaşanan sanayileşme ve kentlere göç hızının, kentlerin büyüme hızından yüksek olması sonucunda; kentlerde ekonomik, toplumsal, fiziksel ve çevresel bozulmalar görülmüştür. Kentlerdeki özellikle konut stoku konusunda artan ihtiyaçları karşılayabilmek için, yaşam alanlarının nicelikleri artarken, nitelikleri azalmış ve 'sorunlu yapı stokları' olarak adlandırılan gecekondu kavramı ile kaçak yapılaşmalar ortaya çıkmıştır. Ülkemizin deprem kuşağında yer alması; yaşanan 1999 Marmara ve 2023 Kahramanmaraş Depremleri sonrasında, ülkedeki yapı stoğunun kalitesi sorgulanmaya başlanmış ve muhtemel İstanbul Depremi için yapılan hazırlıklara hız kazandırılmıştır. İstanbul'un ülke ekonomisine katkısı, kentte yaşayan nüfusun büyüklüğü gibi nedenler göz önüne alındığında, süreçler ivmelendirilerek farklı katılımcılar ile gerçekleştirilen kentsel dönüşüm uygulamaları başlamıştır.

Diğer yandan, Sanayi Devrimi sonrasında ortaya çıkan bir diğer sorun da giderek artan enerji ihtiyacıdır. Enerji ihtiyacı, sanayileşmiş ülkeleri petrol rezervi yüksek olan ülkelere bağımlı kılmaktadır. Bir dizi siyasi olay sonrası, 15 Ekim 1973 tarihinde OAPEC'in (Petrol İhraç Eden Arap Ülkeleri Teşkilatı) uyguladığı ambargo kararı ve petrol fiyatında yaşanan artış, dünya genelinde enerji ihtiyacı konusunda krize neden olmuştur. Enerji konusunda ticaretin siyasi olarak pamuk ipliğine bağlı olmasının yanısıra, 2022 yılı verilerine göre birincil enerji kaynaklarının %82'sinin kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtlardan oluşmakta ve yakın gelecekte bunların tükenme tehlikesi bulunmaktadır (BP, 2023).

Sanayileşmenin diğer bir çıktısı da çevresel kirliliktir. Atıklar nedeni ile hava, toprak ve su kalitesinde yaşanan düşüş; küresel ısınma ve ekolojik dengenin bozulması gibi sonuçlar doğurmaktadır.

Bu nedenler birlikte değerlendirildiğinde; enerji üretiminde en çok kullanılan fosil yakıtlara alternatif olarak, tükenme riski bulunmayan, sanayileşmenin ihtiyacı olan enerji miktarını karşılayabilecek, çevresel kalitenin düşmesine neden olmayacak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma kapsamında, sanayileşmenin getirdiği sorunlardan; sorunlu yapı stokları ile artan enerji ihtiyacı ve çevresel sorunlar birlikte ele alınarak; kentsel dönüşüm ile enerji korunumunun birlikte düşünülmesi amaçlanmıştır. Konutlardaki enerji tüketiminin, büyük bir paya sahip olması nedeniyle, kullanım esnasındaki enerji tüketim değerlerinin minimize edilmesi önemlidir. Mevcut yerleşim yerlerinin dönüşümü ile daha kaliteli yaşam alanlarının tasarlanması hedeflenmektedir. Bu bağlamda, öncelikle yerleşim birimlerinde enerji korunumu ile kentsel dönüşüm kavramları ele alınmış, daha sonra çalışma kapsamında incelenen Zeytinburnu Sahilpark Projesi'nin yerleşim birimlerinde kentsel dönüşümün enerji korunumu açısından değerlendirilmesi yapılarak öneriler sunulmuştur.

2. YERLEŞME BİRİMLERİNDE ENERJİ KORUNUMU

Kullanılan birincil enerji kaynaklarının kısıtlı olması; enerji üretilirken ortaya çıkan çevresel sorunlar ve artan enerji maliyetleri sonucunda; mevcut kaynakların verimli kullanılması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilmesi önem kazanmaktadır. Tüketilen enerji miktarının önemli bir bölümü, binalarda ve özellikle binaların yapma ısıtılması ve iklimlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu nedenle enerji harcamalarının azaltılması amacıyla; enerjinin etkin ve verimli kullanıldığı yerleşim birimlerinin tasarlanması önemlidir.

2.1. Yerleşme Birimlerinde Enerji Korunumunda Etkili Olan Değişkenler

Yerleşim birimlerinde enerji korunumunda etkili olan değişkenler; iklimle ilişkin değişkenler, kullanıcıya ilişkin değişkenler ve binaya ilişkin değişkenler olarak üç ana başlıkta incelenmektedir.

2.1.1. İklimle İlişkin Değişkenler

Güneş ışınımı, dış hava sıcaklığı, dış hava nemliliği ve dış hava hareketi (rüzgar) gibi dış iklimle ilişkin değişkenler ile iç hava sıcaklığı, iç yüzey sıcaklığı, iç hava hareketi ve iç hava nemi gibi iç iklimle ilişkin değişkenlerdir.

2.1.2. Kullanıcıya İlişkin Değişkenler

Metabolizma düzeyi, giysi türü, insanın mekandaki konumu ve duruş şekli kullanıcıya ilişkin değişkenlerdir.

2.1.3. Binaya İlişkin Değişkenler

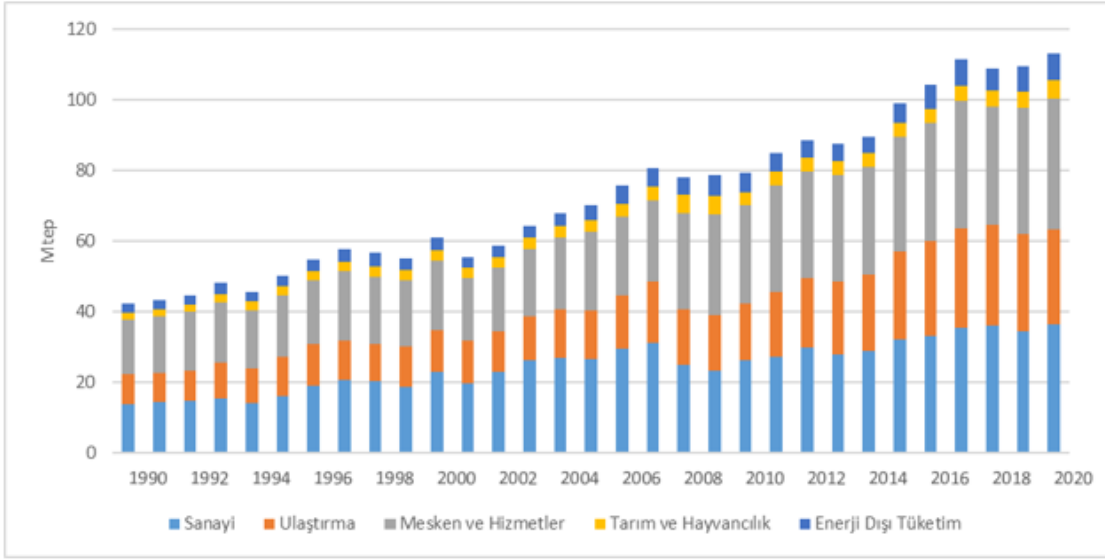
Binanın yeri, binanın yönlendiriliş durumu, hacim organizasyonu, bina aralıkları, bina formu, bina kabuğu optik ve termofiziksel özellikleri (toplam ısı geçirme katsayısı, saydamlık oranı, zaman geciktirmesi, genlik küçültme faktörü) binaya ilişkin değişkenlerdir. İklimsel verilerden yararlanarak, kullanıcı konforunun sağlanması amacıyla harcanan enerji miktarının etkin ve verimli kullanımını gerektirecek şekilde binaların tasarlanması, mimarların tasarım aşamasındaki en önemli görevlerinden biridir.

2.2. Yerleşme Birimlerinde Enerji Korunumunun Gerekliliği

Tablo 1'de de görüldüğü üzere, enerji tüketim değerleri yıldan yıla artmaktadır. Dağılım grafiği incelendiğinde, çalışmanın konusu olan yerleşim birimlerini kapsayan mesken ve hizmetler enerji tüketim değeri, sanayiden sonra en yüksek değerdir. Binaların kullanım ömrünün tasarım, yapım gibi diğer dönemlere göre daha uzun olması ve kullanım

sırasında konfor koşullarının sağlanabilmesi adına, ısıtma, soğutma ve aydınlatma için enerji harcanması nedeniyle, bina yaşam döngüsünde enerji tüketiminin en yüksek olduğu dönem binanın kullanım evresidir. Doğru tasarım kararları ile, kullanım sırasında harcanacak enerji miktarlarında azalma sağlamak mümkündür. Tasarımcının en önemli görevlerinden biri de kullanıcı konfor koşullarını sağlayarak; biyolojik, psikolojik, fizyolojik ve sosyo-kültürel ihtiyaçlara en uygun biçimde cevap veren enerji korunumlu yapma çevreyi oluşturmaktır.

Tablo 1. Yıllar itibariyle Sektörlere Göre Nihai Enerji Tüketimi (Mtep) (URL 1).



Sonuç olarak; çevresel endişeler, enerji kaynaklarının tükenme riski ve enerji tüketiminde gözlemlenen artış nedenleri ile yerleşim birimlerinde enerji korunumu konularının ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

3. KENTSEL DÖNÜŞÜM

Köhneme özellikleri gösteren kentsel bir bölgenin veya kentsel birimin sakıncalarından kenti kurtarmak, farklı kentsel sorunlar nedeni ile ortaya çıkan 'çöküntü bölgeleri'ni çözüme kavuşturmak ve bunların yerine kentin sosyo-ekonomik yapısını olumlu yönde etkileyebilecek yeni bir ortam sağlamak amacıyla yürütülen çalışmalar 'kentsel dönüşüm' olarak tanımlanmaktadır (Baransü, 1989). Kentsel dönüşümün amaçları olarak; kentin fiziksel koşulları ile toplumsal problemleri arasında doğrudan bir ilişkinin kurulması, kent dokusunu oluşturan öğelerin fiziksel olarak değişen ihtiyaçlara yanıt vermesinin sağlanması, kentsel refah ve yaşam kalitesini artırıcı başarılı bir ekonomik kalkınma yaklaşımının ve kentsel alanların en etkin biçimde kullanımına ve gereksiz kentsel yayılmadan kaçınmaya yönelik stratejilerin ortaya koyulması, yerleşim birimleri arasındaki fiziki, sosyal ve ekonomik farklılıkların azaltılması, yapı yoğunluğunun azaltılması, çarpık kentleşmenin önüne geçilmesi, kentsel standartların artırılması, deprem riskinin azaltılması ve kullanım kararlarındaki yanlışlarının düzeltilmesi sayılabilir (Roberts, 2000).

3.1. Dünyada Kentsel Dönüşüm Süreci

Farklı dönemlerde, farklı sorunlara çözüm olarak, farklı hedefler gözetilerek, farklı kentsel dönüşüm yöntemleri ortaya çıkmıştır. Her dönem kendi dinamiğine göre farklı özellikler göstererek farklı müdahale biçimlerini beraberinde getirmiştir. Kentsel dönüşüm süreçleri üç ana evrede incelenebilir:

- Sanayi devrimi sonrası artan sanayileşme ile kente göç hızının artması sonucunda oluşan çevresel kirlilik, sanayi alanlarının düzensiz yapılaşması, kalabalık ve yaşam standartları düşük konut alanları ve yetersiz altyapı hizmetleri ile sağlıksız kentler ortaya çıkmıştır. Bu dönemdeki en önemli müdahale biçimi kentsel yenileme (urban renewal) olarak adlandırılmaktadır (Akkar, 2006).
- İkinci Dünya Savaşı beraberinde getirdiği yıkımdan dolayı, kentlerde fiziksel yenilenmenin yanında sosyal anlamda da yenilenmenin öne çıktığı kentlerin yeniden inşası (urban reconstruction) stratejisi, ikinci ana dönem olan İkinci Dünya Savaşı sonrası kentsel yenileme politikalarının temelini oluşturmuştur (Akkar, 2006).
- Üçüncü ana evre olarak, 1973 Enerji krizi sonrasında yaşanan dönemde, kapitalizmin içine girdiği krize bağlı olarak, dünyada üretimin ve mekânsal yapıların radikal olarak değişime uğradığı, yoğunlaşan küreselleşme dönemi ortaya çıkmıştır. İkinci Dünya Savaşı sonrasında görülen alt kentleşmeler sonucunda, eski cazibesini kaybeden kent merkezlerinin yeniden yapılandırılması hedeflenmiştir (Aşık, 2007).

3.2. Türkiye'de Kentsel Dönüşüm Süreci

Türkiye'de Cumhuriyet ile başlayan kentleşme süreci, 1950'li yıllarda büyük bir hız kazanmıştır. Kentlerde yaşayan nüfus oranı 1945 yılında %29,94 iken, 2000 yılında bu oran %65,01'e ulaşmıştır (Tekeli, 2004). Özellikle Ankara, İstanbul, İzmir gibi kentlerde, yaşanan bu göç dalgası sonucunda kontrolsüz bir büyüme gerçekleşmiştir. Ortaya çıkan konut sorunu, göç edenlerin kendi ihtiyaçlarını kendilerinin gidermesi olarak tanımlanan 'gecekondu' kavramını ortaya çıkarmıştır (Öngören ve Çolak, 2015).

1970'li yıllardan itibaren bu sorunu çözmek amacıyla, kentsel dönüşüm projeleri uygulanmaya başlanılmıştır. Bu projelerin bir kısmı gecekondu alanları üzerine yoğunlaşırken, bir kısmı da kent merkezlerine yakın bölgelerde soylulaştırma projelerini kapsamaktadır. Bu bağlamda yapılan temel uygulama, gecekondu alanlarının yıkılarak yeni kent dokularının oluşturulduğu islah imar planlarıdır (Kayacan, 2010).

1980'lerden itibaren küreselleşmenin getirileri ile birlikte, büyük ölçekli ulusal ve uluslararası sermayenin kar güdüsü ile oluşturulan konut projeleri, kentlerin gereksiz yayılım göstermesine; kültürel, tarihi ve doğal zenginliklerin tahribine, ekonomik, toplumsal ve çevresel sürdürülebilirlik ilkesine karşı kaynakların verimli kullanılmamasına, aynı zamanda israfına, yerel olmayan; toplumsal eşitsizliği, dışlanmayı ve kutuplaşmayı arttıran mekanların oluşmasına yol açmıştır (Sekmen, 2007).

Özetle, kente göçün kontrolsüz ve hızlı olması sonucunda yeterli teknik dayanım ve güvenlikten yoksun, kullanıcıların ihtiyaçlarına cevap veremeyen, ömrünü tamamlamış 'sorunlu yapı stokları' ile birlikte deprem olgusu göz önüne alındığında kentsel dönüşüm konusu önemli ve öncelikli hale gelmektedir.

4. KENTSEL DÖNÜŞÜMDE ENERJİ ETKİNLİĞİ: ZEYTİNBURNU SAHİLPARK PROJESİ

Çalışmanın konusu olan kentsel dönüşümde enerji etkinliği hususunda, 'Yerleşme birimlerinde kentsel dönüşümün enerji korunumu açısından değerlendirilmesi: Zeytinburnu Sahilpark projesi' tezindeki verilerden yararlanılmıştır (Arslankaya, 2016). Söz konusu yerleşim, Zeytinburnu Pilot Projesi dahilinde, İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı'nın iştiraki olan KİPTAŞ tarafından yürütülmüş ve uygulanmıştır.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi Başkanlığı tarafından, JICA (Japonya Uluslararası İşbirliği Kurumu) raporu ve İstanbul Deprem Master planı çerçevesinde, kentsel dönüşüm konusunda deneyim kazanmak, daha sonraki projelerde uygulanabilecek modeller üretmek amacıyla başlanan pilot proje alanı arayışı Zeytinburnu Pilot Projesini gündeme getirmiştir. Gerekli verilerin hazır oluşu, dönüşüm potansiyelinin yüksekliği, yapılmış alanlarında mevcut sorunlu yapı stoğunun her kategoriye içermesi, sosyal dokusunun özellikleri, bahse konu alanın öncelikli riskli alanlardan olması nedenleri ile Zeytinburnu pilot bölge olarak seçilmiştir (İBB, 2005).

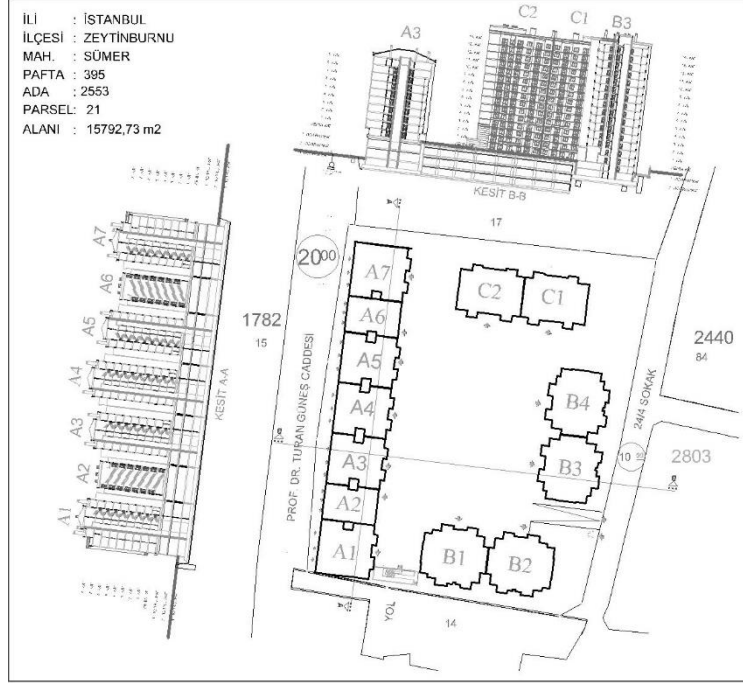
Zeytinburnu Sahilpark Projesinin yer aldığı Sümer Mahallesi, en yüksek risk taşıyan binaların yoğunlaştığı yerdir (Şekil 1).



Şekil 1. Sümer Mahallesi, riskli yapılar ve ayıklanmış hali (İBB, 2005).

Sahilpark projesi, toplamda 693 bağımsız bölümden oluşan, ticaret ve konut fonksiyonlarını birlikte barındıran, A1, A2, A3, A4, A5, A6 ve A7 bloklar; B1, B2 bloklar, B3, B4 bloklar ile C1, C2 bloklardan oluşmaktadır (Şekil 2). Birlikte

konumlandırılan blokların güneşe göre konumlarının aynı olması nedeniyle, bu blokların özelliklerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi birlikte yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada sayıca azınlıkta olan 25 adet ticari fonksiyonlu bağımsız bölüm ihmal edilmiştir (Arslankaya, 2016).

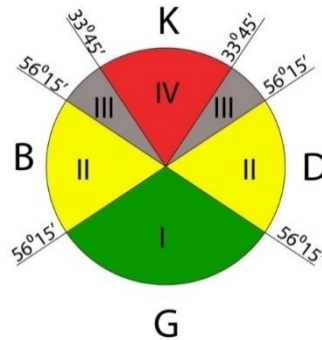


Şekil 2. Vaziyet Planı.

4.1. Binaların Yönlendiriliş Durumu ve Hacim Organizasyonunun Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi

Doğu yönüne doğru %7 açı ile yönlendirilen bloklardan; A bloklar ile B3, B4 bloklar kuzey-güney doğrultusunda, B1, B2 bloklar ile C1, C2 bloklar doğu-batı doğrultusunda yerleştirilmiştir.

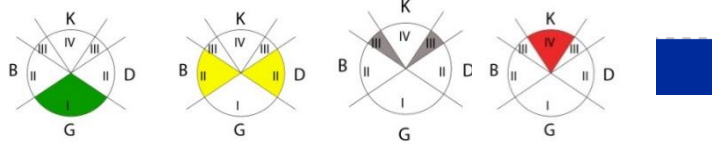
Konutlarda salon, yatak odası ve mutfak gibi hacimler birincil; banyo, tuvalet gibi ıslak hacimler ile merdiven, koridor gibi sirkülasyon hacimleri ikincil hacimler olarak kabul edilmiştir (Yalçınkaya Çalışkan, 2012). Bu çalışma kapsamında birincil hacimler ele alınmıştır. Hacimlerin direkt güneş kazanımı açısından yerleşmeye uygunluk dereceleri Şekil 3'e göre belirlenmiştir. A bloklarda ışıklık bölümünün olması nedeniyle, ışıklıktan güneş ışınımı alan hacimler farklı gösterilmiştir. Direkt güneş kazanımı açısından yerleşmeye uygunluk dereceleri bloklar bazında incelendiğinde çıkan sonuçlar Tablo 2'deki gibidir.



Şekil 3. Hacimlerin yerleşmeye uygunluk dereceleri (Berköz ve diğerleri, 1995).

A bloklarda ışıklık bölümünün olması nedeniyle, ışıklıktan güneş ışınımı alan hacimler farklı gösterilmiştir. Direkt güneş kazanımı açısından yerleşmeye uygunluk dereceleri bloklar bazında incelendiğinde çıkan sonuçlar Tablo 2'deki gibidir.

Tablo 2. Hacimlerin direkt güneş ışınımı kazancı açısından yerleşmeye uygunluk dereceleri.



	Hacim	I. Derece	II. Derece	III. Derece	IV. Derece	Işıklık	Toplam
A	Salon	2 (%1)	231 (%99)	-	-	-	233
bloklar	Yatak Odası	41 (%10)	228 (%50)	-	41 (%10)	128(%30)	438
	Mutfak	3 (%1)	173 (%75)	-	3 (%1)	54 (%23)	233
B1-B2	Salon	60 (%50)	-	-	60 (%50)	-	120
	Yatak Odası	116 (%40)	60 (%21)	-	112 (%39)	-	288
	Mutfak	60 (%50)	-	-	60 (%50)	-	120
B3-B4	Salon	-	120 (%100)	-	-	-	120
	Yatak Odası	30 (%10)	228 (%80)	-	30 (%10)	-	288
	Mutfak	-	120 (%100)	-	-	-	120
C1-C2	Salon	88 (%49)	-	-	90 (%51)	-	178
	Yatak Odası	60 (%25)	120 (%50)	-	60(%25)	-	240
	Mutfak	88 (%49)	-	-	90 (%51)	-	178

Belirlenen özellikler değerlendirilmek istenildiğinde, birincil hacimlerin I. ve II. derecede yer alması direkt güneş ışınımı kazancı açısından uygundur. Projede yer alan hacimler türlerine göre toplu olarak ele alındığında, salonların %77'sinin direkt güneş ışınımı kazancı açısından yerleşmeye uygun olduğu, %23'ünün ise direkt güneş ışınımı kazancı açısından yerleşmeye uygun olmadığı; yatak odalarının %70'inin direkt güneş ışınımı kazancı açısından yerleşmeye uygun olduğu, %30'unun ise direkt güneş ışınımı kazancı açısından yerleşmeye uygun olmadığı; mutfakların %68'inin direkt güneş ışınımı kazancı açısından yerleşmeye uygun olduğu, %32'sinin ise direkt güneş ışınımı kazancı açısından yerleşmeye uygun olmadığı görülmektedir.

4.2. Bina Aralıklarının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi

Isıtmanın istendiği dönemi karakterize eden 21 Ocak ve soğutmanın istendiği dönemi karakterize eden 21 Temmuz günleri için saat 10:00-16:00 arasında Revit programı ile gölgeleme analizi yapılmıştır (Tablo 3). Yapılan analiz sonucunda, 21 Ocak ve 21 Temmuz tarihlerinde hacimlerin buldukları derecelere göre güneş alma oranları, Tablo 4 'te verildiği gibidir.

21 Ocak için yapılan analiz incelendiğinde;

Salon hacimlerinin direkt güneş ışınımı açısından yerleşmeye uygunluk derecelerine göre %23'ünün I. derecede, %54'ünün II. derecede yer almasına karşın, direkt güneş ışınımının engellenmesi sonucunda, I. derecede %20, II. derecede %20 oranında direkt güneş ışınımı aldığı, IV. derecede hacimlerin %23'ünün bulunduğu ve gün boyu direkt güneş ışınımı almadığı,

Yatak odası hacimlerinin direkt güneş ışınımı açısından yerleşmeye uygunluk derecelerine göre %20'sinin I. derecede, %50'sinin II. derecede yer almasına karşın, direkt güneş ışınımının engellenmesi sonucunda, I. derecede %16, II. derecede %15 oranında direkt güneş ışınımı aldığı, ışıklık hacmine bakan %10 oranında hacmin bulunmasına karşın %7 oranında hacimlerin direkt güneş ışınımı aldığı, IV. derecede hacimlerin %20'sinin bulunduğu ve gün boyu direkt güneş ışınımı almadığı,

Mutfak hacimlerinin direkt güneş ışınımı açısından yerleşmeye uygunluk derecelerine göre %23'ünün I. derecede, %45'inin II. derecede yer almasına karşın, direkt güneş ışınımının engellenmesi sonucunda, I. derecede %17, II. derecede %4 oranında hacimlerin direkt güneş ışınımı aldığı, ışıklık hacmine bakan %9, IV. derecede %23 oranında hacmin bulunduğu ve hiç direkt güneş ışınımı almadığı görülmüştür.

21 Temmuz için yapılan analiz incelendiğinde;

Salon hacimlerinin direkt güneş ışınımı açısından yerleşmeye uygunluk derecelerine göre %23'ünün I. derecede, %54'ünün II. derecede yer almasına karşın, bina aralıkları nedeniyle direkt güneş ışınımının engellenmesi sonucunda, I. derecede %18, II. derecede %26 oranında hacimlerin direkt güneş ışınımı aldığı, IV. derecede hacimlerin %23'ünün bulunduğu ve gün boyu direkt güneş ışınımı almadığı,

Yatak odası hacimlerinin direkt güneş ışınımı açısından yerleşmeye uygunluk derecelerine göre %20'sinin I. derecede, %50'sinin II. derecede yer almasına karşın, bina aralıkları nedeniyle direkt güneş ışınımının engellenmesi sonucunda, I. derecede %16, II. derecede %20 oranında direkt güneş ışınımı aldığı, ışıklığa bakan %10 oranında hacmin bulunmasına karşın %8 oranında hacimlerin direkt güneş ışınımı aldığı, IV. derecede hacimlerin %20'sinin bulunduğu ve gün boyu direkt güneş ışınımı almadığı,


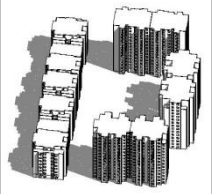
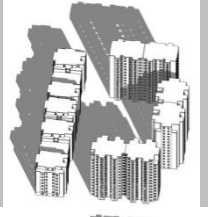
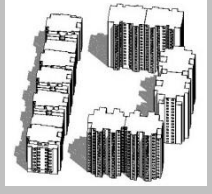
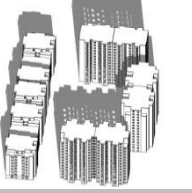
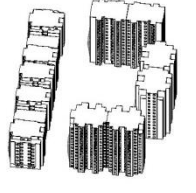

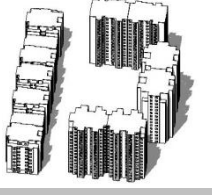
Mutfak hacimlerinin direkt güneş ışınımı açısından yerleşmeye uygunluk derecelerine göre %23'ünün I. derecede, %45'inin II. derecede yer almasına karşın, bina aralıkları nedeniyle direkt güneş ışınımının engellenmesi sonucunda, I. derecede %14, II. derecede %12 oranında direkt güneş ışınımı aldığı, ışıklığa bakan %9 oranında hacmin bulunmasına karşın %4 oranında hacimlerin direkt güneş ışınımı aldığı, IV. derecede hacimlerin %23'ünün bulunduğu ve gün boyu hiç direkt güneş ışınımı almadığı görülmüştür.

4.3. Bina Kabuğu Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi

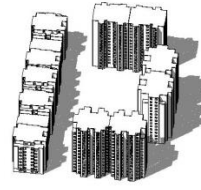
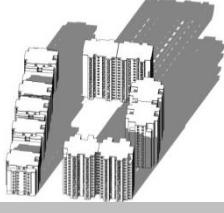
Binalara ait bilgiler projenin yürütücüsü olan KİPTAŞ'tan elde edilmiş olup, bina kabuğuna ilişkin katmanlaşma detayı ve toplam ısı geçirme katsayıları Tablo 5'te gösterildiği gibidir. 9 farklı tipte pencere kullanılmış olup, bu verilere göre cephelerin saydamlık oranları belirlenmiştir.

İstanbul, TS825'e göre 2. derece gün bölgesinde yer almaktadır ve 2. derece gün bölgesi için önerilen toplam ısı geçirme katsayıları (U değerleri) ile yerleşme biriminde yer alan binaların mevcut toplam ısı geçirme katsayıları Tablo 6'da yer almaktadır. Buna göre yerleşme biriminde yer alan binaların toplam ısı geçirme katsayıları (U değerleri) TS 825'te önerilen sınır değerler içinde yer almaktadır ve TS825'e uygundur.

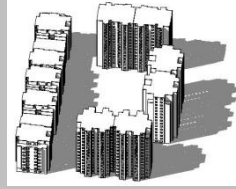
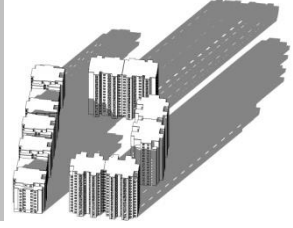
Tablo 3. Yerleşme Birimine Ait 21 Ocak ve 21 Temmuz'daki Gölge Analizi.

	21 Ocak	21 Temmuz
Saat		
10:00		
11:00		
12:00		
13:00		

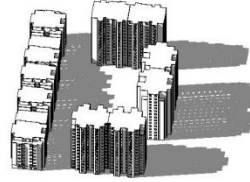
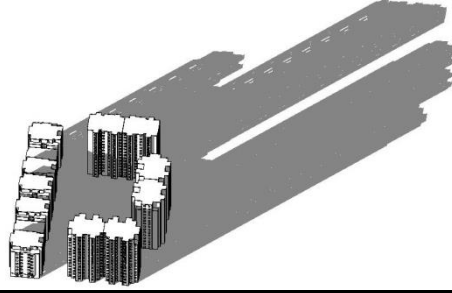
14:00



15:00



16:00



Tablo 4. 21 Ocak ve 21 Temmuz tarihlerinde hacimlerin direkt güneş ışınımı alma oranları.

Bloklar	Hacim	I. derece		II. derece		III. derece		IV. derece		Işıklık	
		21.01	21.07	21.01	21.07	21.01	21.07	21.01	21.07	21.01	21.07
A bloklar	Salon	%100	%92	%43	%49	-	-	-	-	-	-
	Yatak O.	%97	%87	%29	%43	-	-	%0	%0	%7	%8
	Mutfak	%100	%90	%16	%32	-	-	%0	%0	%0	%1
B1-B2 Bloklar	Salon	%100	%100	-	-	-	-	%0	%0	-	-

	Yatak O.	%74	%51	%50	%45	-	-	%0	%0	-	-
	Mutfak	%64	%35	-	-	-	-	%0	%0	-	-
B3-B4 Bloklar	Salon	-	-	%33	%50	-	-	-	-	-	-
	Yatak O.	%57	%97	%9	%30	-	-	%0	%0	-	-
	Mutfak	-	-	%3	%23	-	-	-	-	-	-
C1-C2 Bloklar	Salon	%69	%56	-	-	-	-	%0	%0	-	-
	Yatak O.	%68	%86	%35	%48	-	-	-	-	-	-
	Mutfak	%66	%59	-	-	-	-	%0	%0	-	-

Tablo 5. Bina kabuğu katmanlaşma detayları ve toplam ısı geçirme katsayıları (U).

	Malzeme	Isı iletkenlik hesap değeri λ (W/mK)	Kalınlık d(m)	Toplam Isı Geçirme Katsayısı U (W/m ² K)
Dış duvar	Dış sıva	0,87	0,02	0,53
	Isı yalıtımı	0,03	0,04	
	Sıva	0,87	0,01	
	Beton duvar plakası	0,47	0,15	
	Alçı sıva	0,70	0,01	
Zemin Döşemesi	Laminat parke	0,23	0,01	0,55
	Şap	1,4	0,05	
	Isı yalıtımı	0,035	0,03	
	Radye temel	2,5	1,5	
	Su yalıtımı	0,19	0,01	
	Çakıl örtü	0,7	0,05	

Teras Çatı	3 kat ısı yalıtımı	0,035	0,075	0,40
	Su yalıtımı	0,19	0,01	
	Eğim betonu	1,65	0,03	
	Betonarme döşeme	2,5	0,15	

Tablo 6. TS825 'te önerilen ve yerleşme birimindeki binalara ilişkin mevcut duruma ait toplam ısı geçirme katsayıları (U değerleri).

	U _{Duvar} (W/m ² K)	U _{Tavan} (W/m ² K)	U _{Taban} (W/m ² K)	U _{Pencere} (W/m ² K)
TS 825'te önerilen durum	0,60	0,40	0,60	2,4
Mevcut durum	0,53	0,40	0,55	2,4

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında, Sahilpark projesinin yerleşim özellikleri belirlenmiş ve değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda, özellikle B1, B2, C1 ve C2 blokların doğu-batı doğrultusunda yönelmeleri nedeni ile IV. derecede birincil hacim, sayısının fazla olduğu; A bloklar ve B3, B4 blokların ise yönlendiriliş durumlarının kuzey-güney doğrultusunda olması nedeniyle birincil hacim sayısının II. derecede fazla olduğu ve bu nedenle bu blokların daha dengeli bir hacim organizasyonuna sahip olduğu görülmüştür.

Ayrıca hacimlerin direkt güneş ışınımı kazancı açısından yerleşmeye uygunluk dereceleri binanın kendi kendine gölge atması ya da çevre binalar tarafından gölgelenmesi sonucunda değişebilmektedir. Tüm bloklar gün içinde farklı saatlerde birbirlerinin direkt güneş ışınımı kazancını engellemektedir. Birincil hacimlerin I. ve II. derecede olmalarına rağmen, gölgede kalmaları nedeni ile IV. derecede yer alan hacimlere dönüştüğü, yani hiç direkt güneş ışınımı kazancı almadığı görülmektedir. Yapılan gölge analizinde A, B ve C bloklara ait bina aralıklarının yeterli olmadığı ancak, vaziyet planı incelendiğinde bina aralıklarının artırılmasının da mümkün olmadığı görülmektedir. Bu nedenle yapılaşma oranının/bina yüksekliklerinin düşürülmesi ile gölgeleme sonucu direkt güneş ışınımı kazancı açısından birbirleri için engel teşkil etmeyen binalar elde etmek mümkündür.

Bina kabuğu termofiziksel özelliklerinin TS825'e uygun olması, enerjinin etkin kullanılması açısından da uygun olduğunu göstermiştir.

Sonuç olarak, binanın konumu, yönlendiriliş durumu ve bina kabuğunun termofiziksel özellikleri gibi tasarım aşamasında alınacak pasif kararlar, enerji korunumunun sağlanması açısından önemlidir. Aktif sistemler ile de bina yaşam döngüsünde enerji tüketim değerleri azaltılabilir. Bu tüketimin azaltılması bina yaşam döngüsündeki maliyeti düşürdüğü gibi, binanın çevresel etkilerini de azaltmaktadır.

Enerji korunumu açısından kentsel dönüşüm fırsatı olarak değerlendirilmelidir. Yenilenecek /dönüştürülecek alanların önceki halinden bir adım ya da daha fazla önde olması kentsel dönüşüm uygulamasının başarısının en büyük göstergesidir. Bu başarının sağlanabilmesi için şehir ve bölge plancıları ve mimarlar gibi farklı disiplinlere görevler düşmektedir. Hem kent ölçeğinde hem bina ölçeğinde verilecek doğru kararlar uzun vadede çok daha çevreci ve ekonomik sonuçlar doğuracaktır.

KAYNAKÇA

- Akkar, M.** (2006). *Kentsel Dönüşüm Üzerine Batı'daki Kavramlar, Tanımlamalar, Süreçler ve Türkiye*, Planlama Dergisi, 36, 29-38.
- Arslankaya, Ş.M.** (2016). *Yerleşme Birimlerinde Kentsel Dönüşümün Enerji Korunumu Açısından Değerlendirilmesi: Zeytinburnu Sahilpark Projesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aşık, R.** (2007) *Kentsel Dönüşüm Aktörlerin Bakışı: Zeytinburnu Pilot Projesi Örneği*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.



4. **Baransü, B.** (1989). *Şehir Yenileme*. İstanbul: Reyo Basımevi
5. **Berköz, E. Yılmaz, Z., Kocaaslan, G. ve ekibi.** (2005). *Enerji etkin konut ve yerleşme tasarımı*, TÜBİTAK Araştırma Raporu, Proje No: İNTAG 201.
6. **BP** (2023). *Statistical Review of World Energy*, British Petroleum (BP), London, UK.
7. **İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı,** (2005) *Zeytinburnu Stratejik Eylem Planı*, Kentsel Dönüşüm Müdürlüğü
8. **Kayacan, T.** (2010) *Kentsel Dönüşümde Halkın Katılımının Rolü ve Önemi Zeytinburnu ve Karanfilköy Örnekleri* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
9. **Öngören G., Çolak N.İ.** (2015). *Kentsel Dönüşüm Rehberi*. İstanbul: Öngören Hukuk Yayınları.
10. **Roberts, P. Ve Sykes, H.** (2000). *Urban Regeneration: A Handbook*, Sage, London.
11. **Sekmen, S.** (2007) *Kentsel Dönüşüm Üzerine Bir Model Önerisi: İzmir Ferahlı Mahallesi Örneği* (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
12. **Tekeli, İ.** (2004). *Yerleşme Birimleri İçin Öngörüler, TÜBARaporu*, Ankara.
13. **URL 1** <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sectorlere-gore-nihai-enerji-tuketimi-i-85804#:~:text=De%C4%9Ferlendirme%3A,artarak%20113%2C7%20Mtep%20olmu%C5%9Ftur>. Erişim tarihi: 21.10.2023
14. **Yalçinkaya Çalışkan, F.** (2011). *Toplu Konut Yerleşmelerinin Güneş Işınımı Kazancı Açısından Değerlendirilmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.



tmmob
makina mühendisleri odası

TÜRKİYE'NİN ENERJİ PROFİLİ VE BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Prof. Dr. İbrahim Uzun, EPSDER EPS Sanayi Derneği, İ.O.S.B. Tümsan San. Sitesi 2. Kısım, İkitelli-İstanbul,
ibrahimuzun71@gmail.com

Arş. Gör. Türker Akkoyunlu, Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makina Bölümü,
akkoyunluturker@gmail.com

ÖZET

Gelişen ve çeşitlenen teknoloji ile enerji üretimi, iletimi ve dönüşüm sistemleri de beraberinde gelişmiştir. Enerjinin taşınması ve çeşitliliğine göre iletilmesi, uluslararası alanda enerji yollarını da stratejik hale getirmiştir. Bu çalışmada dünya enerji görünümü içerisinde Türkiye'nin durumu, enerji çeşitliliği, üretim ve ithal girdi değerleri, enerji verimliliğine ilişkin yasal düzenlemeler, enerji verimliliğinde geri dönüş değerleri, konutlardaki enerji verimliliği ve enerji tasarrufu değerlendirilmiştir. Bunun yanında Binalarda ısı yalıtım uygulamaları, Enerji Performans yönetmeliği gerekleri, dünyada ve Türkiye'de enerji kullanım oranları verilmiştir. Enerji Verimliliği eylem planı ile 2017-2023 yılları arasında enerji tasarrufu yapabilmek için yapılması gereken yatırım veya harcama tutarları ve bu harcamaların geri kazanım değerleri, harcama tasarruf oranları ve başa baş noktaları tablo ve grafiklerle sunulmuştur. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik çerçevesinde, binaların NSEB olarak inşa edilmesi zorunlu hale getirilmiş olup bu gelişmenin enerji verimliliğine etkileri gösterilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, Enerji Profili, Mantolama, Yalıtım

ABSTRACT

With developing and diversifying technology, energy production, transmission and conversion systems have also developed. Transporting energy and transmitting it according to its diversity has made energy routes strategic in the international arena. In this study, Turkey's situation within the world energy outlook, energy diversity, production and imported input values, legal regulations on energy efficiency, return values in energy efficiency, energy efficiency and energy savings in residences are evaluated. In addition, thermal insulation applications in buildings, Energy Performance regulation requirements, energy usage rates in the world and in Turkey are given. With the Energy Efficiency action plan, the investment or expenditure amounts that need to be made to save energy between 2017-2023 and the recovery values of these expenditures, expenditure savings rates and break-even points are presented in tables and graphs. Within the framework of the Regulation on Amendments to the Energy Performance Regulation in Buildings, it has become mandatory for buildings to be constructed as NSEB, and the effects of this development on energy efficiency have been tried to be shown.

Key Words: Energy Efficiency, Energy View, Cladding, Insulation



1. GİRİŞ

Enerji, genel anlamda iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. İş yapabilme yeteneği ise birçok kaynak girdisi ile sağlanabilmektedir. Bunlar fosil yakıtlar, yenilenebilir kaynaklar, nükleer gibi çeşitlendirilebilir. Gelişen ve çeşitlenen teknoloji ile enerji üretimi, iletimi ve dönüşüm sistemleri de beraberinde gelişmiştir. Bu durum enerjiyi bulunduğu yerden çok uzak bölgelerde de ulaşılabilir duruma getirmiştir. Enerjinin taşınması ve çeşitliliğine göre iletilmesi, uluslararası alanda enerji yollarını da stratejik hale getirmiştir. Taşıma hatlarının geçtiği ülkeler, ilk çıkış noktası kadar önem taşımaktadır. Günümüzdeki gerginlikler, ülkeler arasındaki uzun dönem anlaşmaları ve stratejik ortaklıkları bile ciddi boyutta etkileyebilmektedir. Ekonomik gelişmelerin ana girdisi olarak görülen enerji, çok boyutlu ve uzak geleceğe yönelik politika ve stratejilerin uygulanması gerektiğini ortaya koymaktadır [1,4]. Enerji kaynakları sahipliği ve üretim maliyetleri, enerjinin depolanması, dağıtımı, iletimi, kullanılması ve ulusal ve uluslararası toplam enerji isteminin karşılanması için gerekli arz güvenliğinin sağlanması ve son dönemde etkisi giderek artan ve artık ülkeler için enerji politikalarının bir parçası haline gelen yenilenebilir kaynakların potansiyeli ve çevrenin korunması önem kazanmıştır [12].

Enerjiye sahip ülkeler günümüzde bu kaynaklarını siyasi ve iktisadi amaçlar yanında askeri amaçları için de kullanabilmektedirler. Ülkeler arasındaki ilişkilere bağlı olarak farklı stratejiler uygulanabilmektedir. Duruma göre, yapılan anlaşmalara karşın zaman zaman enerji aktarımı kesilebilmekte, kısıtlanabilmekte veya farklı koşullara bağlanabilmektedir. Ülkelerin enerji gereksinimleri arttıkça kaynaklara ulaşma yolları çeşitlenmekte, anlaşma yöntemleri değişmekte ve bağımlılıklar sürekli olarak artmaktadır. Enerjiyi arz edenle, talep eden arasındaki ilişkiler sürekli değişmekte ve çoğu zaman ticari boyutun dışına çıkabilmektedir. Enerji gereksiniminin artması ve karşılanmadığı durumlarda savaşlar, ambargolar, yaptırımlar, ekonomik siyasi birlikler ve sömürgecilik gibi farklı yöntemler devreye girmekte ve sorunlar bu şekilde giderilmeye çalışılmaktadır. Ortadoğu'da bitmek bilmeyen savaşlar, işgaller, zengin enerji kaynaklarına sahip Afrika ve Latin Amerika ülkelerinde yaşanan siyasi düzensizlikler, darbeler, enerji kaynaklarına ulaşmada iktisadi yöntemlerin çok da kullanılmadığının açık göstergesi olarak kabul edilebilir [4].

Ülkeler, özellikle enerji konusunda dışa bağımlılığı yüksek olanlar, bu maliyetleri karşılamak veya azaltmak için yoğun çaba sarf etmektedirler. Ülkemizde enerji ekonomisi, enerji verimliliği ve uygulamalarına yönelik birçok yasal düzenleme yapılmıştır. Bu düzenlemeler Enerji Verimliliği Kanunu, Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, Enerji Verimliliği Denetim Yönetmeliği, Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği şeklinde sıralanabilir. Bilindiği üzere yasal düzenlemeler etkin bir şekilde izlenip uygulamalar ciddi olarak denetlenmediğinde yazılı metinden öteye geçmemektedir. Ülkemiz için yasal düzenlemelerin bu açıdan oldukça yeterli olduğu, ancak uygulamalar konusunda eksikliklerin olduğu ve yasal düzenlemelerin dışında oldukça fazla uygulamanın olduğu söylenebilir. Bunlara örnek olarak binalarda ısı yalıtım uygulamaları ve enerji performans yönetmeliği gerekleri sıralanabilir. Türkiye'de kullanılan toplam enerjinin yaklaşık yüzde 33 kadarı binalarda tüketilmektedir. Bu enerji harcamasının gelişmiş ülkelere oranı ise üç ila beş kat fazladır [11]. Bunun yanında yalıtımsız binalarda enerji kayıpları, yalıtımlı binalara göre yüzde 60 civarında fazladır. Türkiye'de ise toplam bina stokunun yaklaşık yüzde 80 kadarı hâlâ yalıtımsızdır.



Bu değerlendirmeler sonucunda, enerji tüketiminin en kolay ve etkili bir şekilde azaltılabileceği sektörün, konut sektörü olduğu görülebilir. Bu durum, Türkiye için enerjinin verimli kullanılması gerekliliğini ve buna binalardan başlanması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Enerji gereksiniminin artış hızı ancak enerjinin verimli kullanılması ve enerji ekonomisinde alınacak önlemlerle azaltılabilecektir.

2. ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN YASAL YÖNÜ

Türkiye'nin enerji gereksiniminin yaklaşık dörtte üçü yurtdışı kaynaklardan dış alım ile karşılanmaktadır. Enerji kaynaklarının yetersizliği coğrafik şartlara bağlı olmakla birlikte, arama ve sondaj çalışmalarında geç kalınması, yeterince etkin araştırma yapılmaması ve etkin enerji türlerinin uygulanmasında hâlâ yol alınamamış olması da kaynak yetersizliğine yol açan faktörler olarak sıralanabilir. Dünyanın enerji zengini ülkelerinin birçoğu fosil yakıtların yoğun bulunduğu ülkeler olup diğerleri ise nükleer enerji gibi teknolojik enerji yatırımlarını yıllar önce yapmış olanlardır. Gelişmiş ülkelerin yine birçoğu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin ön almışlar ve bu konuda da oldukça yol almışlardır. Enerji alanında ülkelerin bağımsız olabilmesi, kendisine yeter miktar enerjiyi başkalarına gereksinim duymadan üretebilmesine, olağan üstü süreçlerde enerjinin kesintiye uğramadan kullanılabilmesine ve dünya ölçeğinde enerji maliyetlerinin kıyaslanabilir düzeyde kalmasına bağlıdır. Bu durum oldukça stratejik bir konu olup, ülkeler için çoğu zaman bağımsızlık kadar önemli bir durumdur.

Günümüzde gelişmiş ülkelerin neredeyse tamamında enerji ile ilgili birçok konu, yasal düzenlemelerle yönetilmek ve yönlendirilmek durumundadır. İnsanların, kurum ve kuruluşların enerji gibi konularda duyarlı davranmasını beklemenin yanında yönetimlerin de önlemler alması ve durumu yönetmesi gerektiği açıktır. Yasal alt yapısı olmayan uygulamaların düzensiz ve tutarsız olması, hedeflere ulaşmayı güçleştirir. Kararlı ve gelişmiş ülkeler, kuralları belirlenmiş, belirli periyotlarla güncellenen, planlamalarla yönetilmektedirler. Plansız çalışmalar ve uygulamalar, ölçülebilir olmaktan uzak, yönü ve büyüklükleri hesaplanamayan, kendi haline bırakılmış çabalardan öteye geçemez. Hedefleri, yol haritaları, alternatif planları ve somut değerlendirme verileri olmayan planlamalar ve günü birlik kararlar, her zaman aksamaya gebedir. Bu çerçeveden bakıldığında Türkiye, yasal düzenlemeler, planlamalar ve eylem planları açısından önemli kararlar almış ve gerekli düzenlemeleri yapmıştır. Enerji ekonomisi ve enerji verimliliği konusunda yasal açıdan küçük eksiklikler her zaman olduğu gibi bulunmasına karşın, oldukça fazla çalışma yapılmış ve düzenlemeler getirilmiştir. Bu düzenlemeler kanun, yönetmelik ve eylem planları şeklinde özetlenebilir. Türkiye'nin dünya ölçeğinde enerji görünümündeki enerji ekonomisi ve enerji verimliliği konusundaki düzenlemeler aşağıdaki bölümlerde özetlenmiştir.

2.1. Enerji Verimliliğine İlişkin Yasal Düzenlemeler

Enerjinin etkin kullanılması, savurganlığın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için, enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılması esas alınmıştır. Enerjinin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında, endüstriyel işletmelerde, binalarda, elektrik enerjisi üretim tesislerinde, ulaşımda enerji verimliliğinin artırılmasına ve desteklenmesine, toplum genelinde enerji bilincinin geliştirilmesine, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılmasına yönelik uygulanacak usul ve esaslar tanımlanmıştır [6].

Bu bağlamda en önemli yasal düzenlemelerden birisi Enerji Verimliliği Kanunu'dur. Kanun çerçevesinde enerji sektörünün kamu ayağının enerji tüketen kurum ve kuruluşlar için eğitim ve bilgilendirme çalışmalarının düzenlenmesi, Türkiye'nin genel enerji durumu, enerji kaynakları, enerji üretim teknikleri, günlük hayatta enerjinin verimli kullanımı ile iklim değişikliği ve çevrenin korunmasında enerji verimliliğinin önemi konularında kuramsal ve uygulamaya yönelik bilgiler verilmesi gerekliliği düzenlenmiştir. Düzenlemelerde çeşitli bakanlıklara ve üst yönetim kurum ve kuruluşlarına görevler verilerek kendi alt kuruluşları ve çalışanlarına ve çalışma alanlarına giren hedef kitlelere eğitim programlarında yer vermelerine özel önem verilmiştir. Bu bilinçlendirme ve uygulama programlarında değişik medya araçlarının kullanılması ve eğitimin etkinliğinin artırılması konularında somut sınırlar tanımlanmıştır. Hatta bu programlara, günlük yayın saat ve süreleri konusunda bile tanımlamalar getirilmiştir. Kanun, uygulamalar konusunda da oldukça ayrıntılı tanımlamalar getirerek endüstriyel işletmeler, belirli alan ve tüketimlerin üstündeki ticari binaların, hizmet binalarının ve kamu binalarının yönetimleri konusunda Enerji Yöneticiliği gibi sorumluluklar getirmiştir. Bu sorumluluklar çerçevesinde enerji harcamaları ve enerji verimliliği konusunda İzleme, Analiz ve Projeksiyon çalışmalarına yönelik olarak raporlamaların yapılması ve bunların yayımlanması konularında önemli tanımlamalar yapılmıştır. Endüstriyel işletmeler tarafından geliştirilen verimlilik artırıcı ve enerji yoğunluğunun azaltılmasına yönelik projelerin desteklenmesi ve bu proje bedellerinin en fazla yüzde yirmisi oranında desteklenmesi gibi önemli destek konularına da yer verilmiştir.

Tablo 1. Enerji Verimliliği Alanındaki Yasal Düzenlemeler [5]

2007	2008 2010 2011	2012	2014	2018	2019	2020
Enerji Verimliliği Kanunu	Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik	Enerji Verimliliği Strateji Belgesi	10. Kalkınma Planı	Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı	11. Kalkınma Planı	Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik
	Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği					
	Ulaştırma Enerji Verimliliğinin Artırılmasına Dair Yönetmelik					
	KOSGEB Destek Programları Yönetmeliği	Destekler, Yetki Belgesi ve Eğitim Hakkında Tebliğler	Kojenerasyon Tesislerinin Verimliliğinin Hesaplanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğ	Kamu İdarelerinin Enerji Performans Sözleşmesi Yapmasına İmkân Veren Torba Kanun		Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Strateji Planı (2019-2023)

Yasal düzenlemeler, yazıldıkları kâğıtlar üzerinde eyleme geçemezler. Elleri kolları ve uygulama güçleri yoktur. Bu yazıları eyleme geçirecek, sonuç alacak ve etkilerini gözlemleyecek olanlar kurumlardır. Böylece Türkiye için her yönüyle üzerinde titizlikle durulması gereken enerji ve enerjinin verimli kullanılmasının eğitimi, her yaşta kişilerde bilinç, duyarlılık ve kültür oluşması en önemli unsurdur. Kişilerin inanmadığı ve



kişilerde bilincin gelişmediği herhangi bir olgunun toplumda hayat bulması neredeyse olanaksızdır. Kanun bu açıdan kurum ve kuruluşlara önemli görevler vermiştir. Burada önemli olan bu uygulamaların hayata geçirilmesi, etkin uygulanması, sonuçlarının değerlendirilmesi ve planlamaların bu değerlendirmeler ışığında revize edilerek sürdürülmesidir.

Enerji verimliliği yanında, yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılarak elektrik enerjisi üretiminin hedeflendiği bir düzenlemede Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının (YEK) Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'dur. Bu düzenlemede, üretilen enerji kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması amaçlanmıştır. Enerjide kaynak çeşitliliği, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi ve çevrenin korunmasına ilişkin ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde gereksinim duyulan üretim sektörünün geliştirilmesine dair hükümlere de yer verilmiştir. Kanun ile yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması, bu alanların ve bağlantı kapasitelerinin yatırımcılara ayrılmasıyla yatırımların hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi amacıyla kamu ve hazine taşınmazları ile özel mülkiyete konu taşınmazlarda, ilgili kurum ve kuruluşların görüşü alınarak, yer seçimi yapma yoluyla, yenilenebilir enerji kaynak alanları oluşturulması sağlanmaktadır [15]. Bu kanun kapsamında, YEK alanlarının belirlenmesi, korunması ve kullanılmasına yönelik maddeler yanında, YEK belgesi verilmesi, destekleme mekanizması, lisanssız elektrik üretim çalışmaları ve en önemlisi yerli ürün kullanımı başlıklarında düzenlemeler yapılmıştır. Bu kanun kapsamındaki uygulama usul ve esasları ise yönetmeliklerle genişletilerek uygulamaya konulmuştur.

Enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kaynakları ve bu kaynakların ekonomik kullanımına ilişkin birçok yönetmelik çıkarılmıştır. Bunlardan en önemlileri Enerji Verimliliği Denetim Yönetmeliği, Enerji ile İlgili Ürünlerin Çevreye Duyarlı Tasarımına İlişkin Yönetmelik, Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği gibi düzenlemelerdir [8-2].

Yasal düzenlemeler yanında enerji verimliliği konusunda tüm sektörlerde planlar yapmak, bu planları titizlikle uygulamak, gerektiğinde destekler sağlamak ve bu çalışmaların belirli periyotlarda analiz ve raporlamaların yapılması önem taşımaktadır. Aksi durumda, piyasa kendi dinamikleri doğrultusunda kendi doğru veya yanlışları üzerine bir gelecek inşa etmeye devam edecektir. Piyasa koşullarında enerji verimliliği politikalarından biri olan ve Avrupa Birliği ülkelerinde uygulanmaya başlanılan enerji verimliliği yükümlülükleri uygulamasının enerji verimliliğini sağlamakta etkin olduğu görülmektedir. Enerji tasarrufu potansiyelinin yüksek olduğu ve hızlı bir şekilde sonuç alınabilecek tüketim alanlarına yönelinerek, eylem planları geliştirmek, Türkiye için vazgeçilmez bir hal almıştır. Özellikle enerji maliyetlerinin aşırı yükseldiği ve Türk lirasının yabancı paralar karşısındaki değeri dikkate alındığında bu konunun önemi daha da artmıştır. Özellikle enerji yoğun sektörlerdeki tasarruf potansiyellerinin değerlendirilmesi gerektiği ve Türkiye'de enerji verimli sistemlerin kullanımının zorunlu olduğu görülmüştür. Türkiye'nin, geleceğe yönelik enerji planlamalarını yaparken enerji verimli sistemlere yönelmesi, enerji yoğunluğunu düşürmesi, enerji planlamalarında ve uygulamalarında yerli kaynakları en etkin şekilde kullanması, çevre konusunu göz önünde bulundurarak, sürdürülebilir bir enerji politikası belirlemesi gerektiği görülmüştür [5,16].

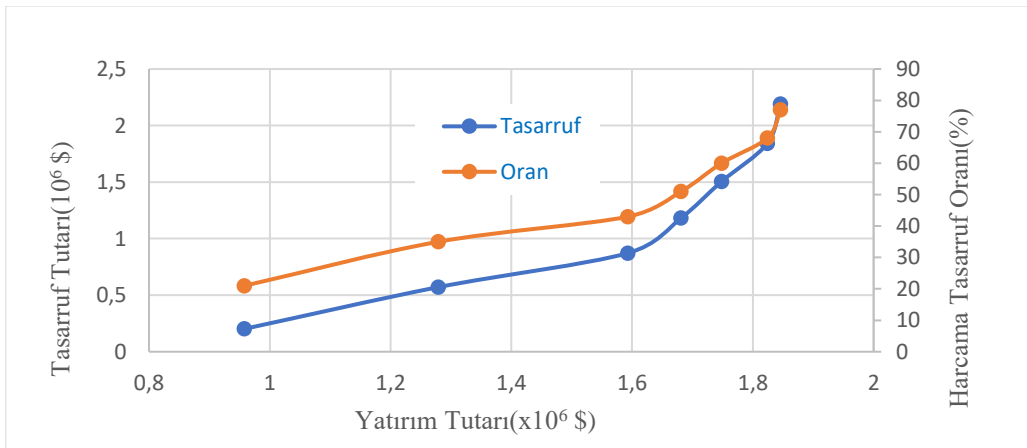
2.2. Enerji Verimliliği Eylem Planı

Enerji verimliliği konusunda hazırlanmış olan kanun ve yönetmelikler gereği Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından 2017 yılında hazırlanmış olan Enerji Verimliliği Eylem Planının bu konuda önemli bir adım ve aşama olduğu düşünülmektedir. Bu tür eylem planları elbette yol haritası niteliğinde olup geri dönüşleri ve gerçekleştirme oranlarının belirli aralıklarla değerlendirilmesi daha da önemlidir. Bu plan kapsamında bina ve hizmetler, enerji, ulaştırma, sanayi ve teknoloji, tarım ve yatay konular olmak üzere toplam 6 kategoride tanımlanan 55 eylem ile 2023 yılında Türkiye'nin birincil enerji tüketiminin %14 azaltılması hedeflenmektedir [13]. Eylem planına dayanak oluşturan Enerji Verimliliği Kanunu, Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi, Enerji Verimliliği Strateji Belgesi, 11. Kalkınma Planları ile yazılı metinlerle, planlamalar ve eylemler tanımlanmıştır. Özellikle son kalkınma planı çerçevesinde aşağıdaki başlıklarla enerji verimliliğinin ele alınmasının planlandığı görülmektedir.

Üretim alanında, bölgesel ısıtma ve soğutma sistemlerinde, elektrikli makinaları ve beyaz eşya sektöründe ve sanayi tesislerinde kullanılan enerjinin azaltılması için, verimsiz cihazların verimliliği ile değişiminin sağlanması hedeflenmiştir. Bunların yanında orman varlığının artırılması ile karbon salınımının azaltılması, var olan binalarda enerji verimliliğini özendirici desteklemelerin yapılması, kamu binalarında enerji verimliliği projelerinin hayata geçirilmesi, liman operasyonlarında Yeşil Liman uygulamalarının desteklenmesi ve konut üretiminde enerji verimliliğinin öncelenmesi amaçlandığı görülmektedir. Enerji Verimliliği eylem planı ile 2017-2023 yılları arasında enerji tasarrufu yapabilmek için yapılması gereken yatırım veya harcama tutarları Tablo 2.'de verilmektedir [13].

Tablo 2. Enerji Verimliliği Yönünde Yapılan Yatırım ve Sağlanabilecek Tasarruf Miktarları [13]

Toplam Yatırım veya Harcama Tutarları(M \$)							
2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	TOPLAM
958	1.279	1.593	1.681	1.748	1.824	1.846	10.928
Enerji Tasarrufu (kTEP)							
577	1.630	2.493	3.378	4.298	5.264	6.261	23.901
Enerji Tasarrufu (M\$)							
202	571	872	1.182	1.504	1.842	2.191	8.365

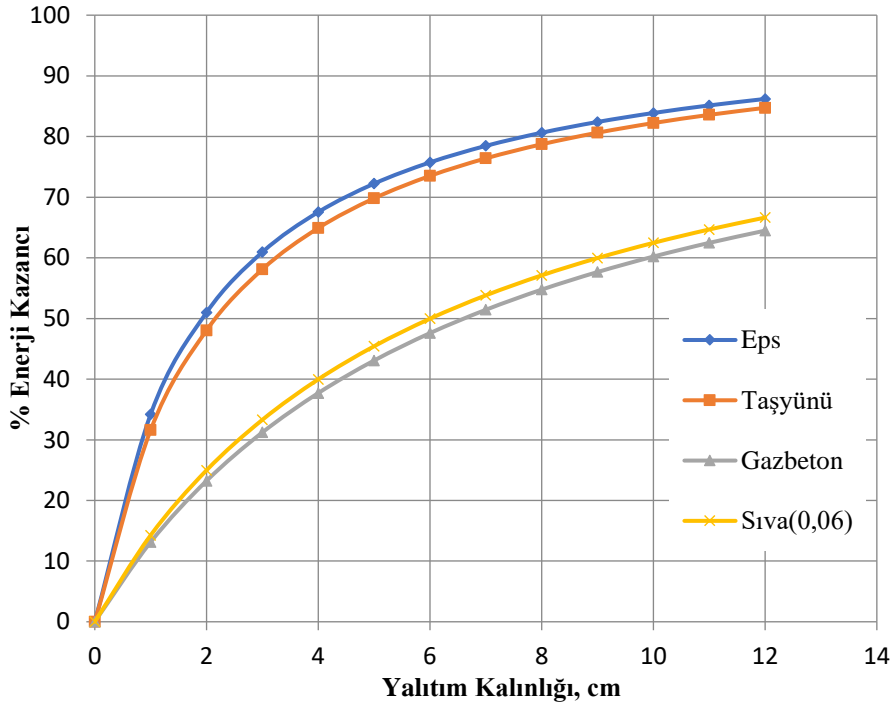


Şekil 1. Enerji Verimliliği Yatırım Tutarına Göre Tasarruf Tutar ve Oranları [13]

Enerji verimliliği için yapılan harcamalar ve edilebilecek tasarruf miktarlarını gösteren Tablo 2.'den çıkan sonuç, 2023 yılına kadar yapılan harcamaların başa baş bile olamadığı ve toplam harcama değeri olan 10.928

M\$ miktarın toplam tasarruf miktarı ancak 8.365 M\$ olabilmektedir. Bu sonuçlardan geri ödeme süresi bu eylem planında yedi yıl olarak değerlendirildiği görülmektedir. Enerji tasarrufu için yapılan yatırımların kısa sürede sonuç vermesi beklenilmemelidir. Çünkü enerji harcaması arttıkça ve enerji kullanıldığı sürece etkinliği ve tasarruf miktarı fark edilir olacaktır. Bir binaya yaptırılan yalıtımın maliyetinin hemen ilk kış veya yaz mevsiminde kazanılması olası değildir ancak ilk enerji tüketim miktarlarında düşüş gözlemlenebilir.

Yapılan yatırımların geri dönüşleri yıllar alabilecektir. Tablo 2 bu konuda iyi bir fikir vermektedir. İlk yapılan yatırım veya harcamanın aynı yıl içerisinde getirisi %20 civarında iken, beş yıl sonunda bu oranın %60 ve yedi yıl sonunda bu oranın %76 gibi bir değere yükseldiği görülebilir. Yapılan harcamanın yedinci yılında, toplam harcamanın toplam tasarruf miktarının altında kalması, önemli bir göstergedir. Tablo 2.'deki veriler kullanılarak enerji verimliliği yatırım tutarlarına karşılık gelen tasarruf tutarları ve tasarruf oranları Şekil 1.'de gösterilmiştir.

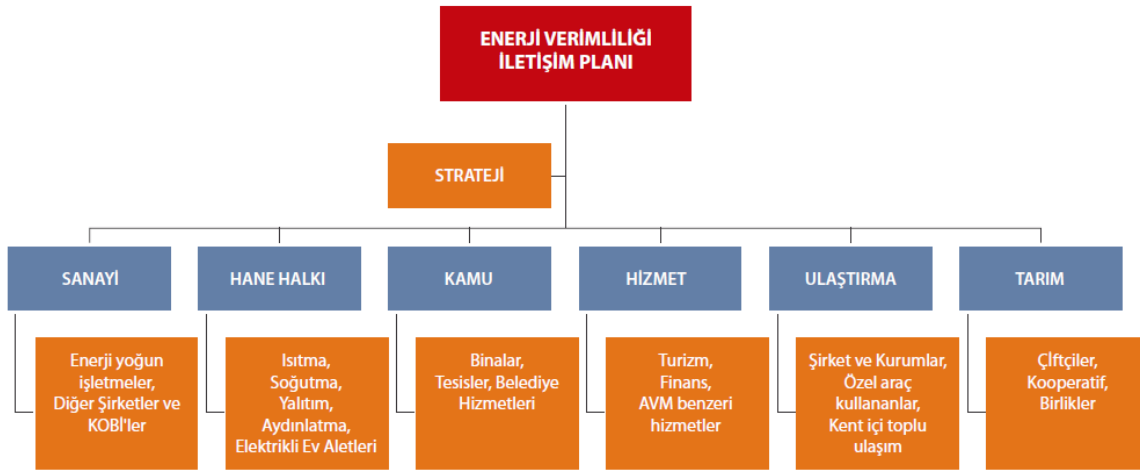


Şekil 2. Enerji Verimliliği Uygulamasında Yalıtım Kalınlıkları ile Enerji Tasarrufu Oranları [14]

Enerji verimliliğine ilişkin en hızlı ve etkin yol alınabilecek uygulamanın, binalardaki yalıtım kalınlıklarının artırılması, eski binaların yalıtılması ve pencerelerin ve cam giydirme cephelerin ısı yalıtımı açısından gözden geçirilmesi gerekliliği olduğu bilinmektedir. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik (9 Şubat 2022) çerçevesinde, binaların Enerji Kimlik Belgesindeki enerji performans sınıfının B veya daha iyi olması, birincil enerji ihtiyacının en az %10'u oranında yenilenebilir enerji kullanımına sahip olması ve inşaat alanı 2000 m² ve üzeri olan binaların NSEB (Neredeyse Sıfır Enerjili Binalar) olarak inşa edilmesi zorunlu hale getirilmiştir. Bu gelişme, enerji verimliliği için olumlu bir adım olmakla birlikte oldukça geç kalınmış bir durumdur. Binalardaki tasarruf için binaların öncelikli olduğu ve yalıtım kalınlıklarının çok yetersiz olduğu açıktır. Yalıtım kalınlıklarına ilişkin verilmiş olan Şekil 2.'de, yalıtımsız bir duvar için farklı yalıtım ve yapı malzemeleri ile yapılacak uygulamalarda tasarruf oranları belirtilmiştir.

Enerji Verimliliği Göstergeleri

Enerji verimliliği, enerjinin ilk kaynaktan son tüketildiği ve emisyonlar üreterek sonlandığı aşamaya kadar faydalı kısmının en fazla kullanımı şeklinde tanımlanabilir. Enerjiden en yüksek oranda yararlanmak için, daha çok iş veya güç elde etmek ve atık enerji miktarını olabildiğince düşük düzeyde tutmak, amaçtır. Bu durum her zaman gerçekleştirilemeyebilir. Bir içten yanmalı motorla jeneratörün çalıştırılması ile elektrik elde edilmesi, buhar türbini veya gaz türbini kullanılarak elektrik elde edilmesi süreç ve verimlilik açısından çok farklıdır. Bunun yanında güneş enerjisine yönelmiş panellerden elektrik elde etme veya hidrolik kaynaklarda su türbinleriyle aynı elektriği üretmek de farklı etkinlik değerlerine veya verimlere sahip enerji dönüşüm sistemleridir. Burada esas olan olabildiğince yeni ve verimli teknolojiler kullanmak, atık ısıyı en aza indirmek ve eğer olası ise atık enerjiden de yararlanılarak en son noktaya kadar kullanılabilir durumdaki enerjiyi kullanmaktır. Bunları yaparken elbette yaşam standartlarından, üretim kapasitelerinden ödün verilmemesine özen gösterilmelidir.



Şekil 3. Enerji Verimliliği Uygulamalarının Sınıflandırılması [13]

Enerji verimliliği uygulamalarında her farklı tüketim kaynaklarını ayrı ayrı ele almak gerekir. Bu şekilde geliştirilecek yöntemlere verilecek destekler de farklı olacaktır. Sanayide kullanılan bir büyük ölçekli ısı işlem fırınında enerji verimliliği ile evde kullanılmakta olan bir gereç için uygulanabilecek yöntem veya tasarruf miktarları farklı olacaktır. Bir ısı işlem fırınındaki ısı kaçakları azaltmak, ürünleri planlayarak fırını etkin kullanmak veya sıcaklık kontrol mekanizmaları ile aşırı harcamaları önlemek ile evdeki ısıtma sisteminde tasarruf etmek çok farklıdır. Birisinde yatırım yapıp karşılığını uzun sürede almanız olası iken diğer tarafta eğitim ve tasarruf bilincinin gelişmesi yeterli olacaktır. Enerji verimliliği planlamasında gruplandırmalara gidilmesi gerektiğine ilişkin bilgiler Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu gruplandırmalar fazla alt açınımlara ve detaylandırmalara göre de düzenlenebilirler.

Ülkelerin enerji tüketimleri veya kişi başı enerji tüketimleri gelişmişlik düzeyi ile ilgili olmakla birlikte, enerji savurganlığı açısından da değerlendirilmesi gereken önemli bir konudur. Bu enerji miktarının yüksekliği ülkelerin gönenç seviyesinin yüksek olduğuna işaret etmekle birlikte ülkelerin demografik yapısı, coğrafi konumu ve iklimi gibi bazı parametrelerin de dikkate alınması gereken bir konu olduğu unutulmamalıdır. Türkiye'nin birincil enerji tüketimleri ve bu tüketimlerin enerji kaynaklarına göre dağılımı Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5'te gösterilmiştir [3].

Tablo 3. Ülkelerin Kişi Başına Enerji Tüketimleri*[3]

Ülkeler	2010	2019	2020	Yıllık Değişim %
---------	------	------	------	------------------

				2020	2009-2019
ABD	300.7	288.4	265.2	-8.3	-0.2
Brazilya	56.0	58.9	56.5	-4.3	1.4
Almanya	169.6	156.3	144.6	-7.8	-0.4
Yunanistan	123.1	113.9	96.0	-16.0	-1.2
Türkiye	62.2	78.0	74.6	-4.6	2.7
Rusya	195.1	204.9	194.0	-5.6	0.9
Çin	76.2	99.1	101.1	1.7	3.3
Japonya	164.2	144.8	134.7	-7.3	-0.6
Dünya	72.6	75.4	71.4	-5.5	0.7

*Gigajoule (GJ, 1E+09J)

Enerji yoğunluğu, bölgeler ve ülkeler bazında bir birim gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH) yaratabilmek için ne kadar enerji gerektiğini ölçen bir enerji verimliliği göstergesidir. Enerji yoğunluğu hesaplamasında ideal durum, GSYH yükselirken enerji tüketiminin düşük kalmasıdır. Bir diğer deyişle enerji yoğunluğu (TEP/GSYH) oranının düşük olması, ülkeyi enerji verimliliği değerlendirmesinde pozitif olarak etkilemektedir. Enerjinin GSYH içinde ne düzeyde bir paya sahip olduğunu göstermesi yanında, enerji ile ilgisi çok sınırlı olan kırsal kesimleri de temsil ettiği unutulmamalıdır. Tarım toplumları ile sanayi toplumları arasındaki farkı çok net ayırmak için detay çalışmalara gerek olduğu unutulmamalıdır.

Tablo 4. Ülkelerin Birincil Enerji Tüketimleri*[3]

Ülkeler	2019	2020	Yıllık Değişim %		
			2020	2009-2019	2020
ABD	94.90	87.79	7.7	0.5	15.8
Brazilya	12.42	12.01	-3.6	2.2	2.2
Almanya	13.05	12.11-	-7.5	-0.1	2.2
Yunanistan	1.19	1.00	-16.4	-1.6	0.2
Türkiye	6.51	6.29	-3.6	4.3	1.1
Rusya Federasyonu	29.90	28.31	-5.5	1.1	5.1
Çin	142.03	145.46	2.1	3.8	26.1
Japonya	18.37	17.03	-7.5	-0.8	3.6
Dünya Toplam	581.51	556.63	-4.5	1.9	100.0

*Exajoule(EJ, 1E+18J)

Tablo 5. Ülkelerin Enerji Çeşitliliğine göre Birincil Enerji Tüketimleri*[3]

Ülkeler	Petrol	Doğal Gaz	Kömür	Nükleer	Hidro-Elektrik	Yenilenebilir	Toplam
ABD	32.54	29.95	9.20	7.39	2.56	6.15	87.79
Brazilya	4.61	1.16	0.58	0.14	3.52	2.01	12.01
Almanya	4.21	3.12	1.84	0.57	0.17	2.21	12.11
Yunanistan	0.51	0.21	0.11	-	0.03	0.14	1.00
Türkiye	1.82	1.67	1.66	-	0.69	0.45	6.29



Rusya Federasyonu	6.39	14.81	3.27	1.92	1.89	0.04	28.31
Çin	28.50	11.90	82.27	3.25	11.74	7.79	145.46
Japonya	6.49	3.76	4.57	0.38	0.69	1.13	17.03
Dünya Toplam	173.7	137.62	151.4	23.98	38.16	31.71	556.63
*Exajoule(EJ, 1E+18J)							

Dünyadaki birçok ülkenin birincil ve kişisel enerji tüketimleri Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5 üzerinden değerlendirildiğinde, 2020 yılında ciddi düşüşler olduğu görülebilir. Türkiye de bu durumda olup 2020 yılı içerisinde %-4,6 düzeyinde düşüş göstermiştir. Ancak kişisel tüketim değerlerine bakıldığında son on yıllık durumda %4,3 gibi bir artış kaydettiği gözden kaçırılmamalıdır. Bu durumun, uzun vadeli perspektifte gelişmişlik düzeyinin bu açıdan yükseldiği anlamına geldiği söylenebilir. Ancak geçtiğimiz iki yıl içindeki düşüşlerin, dünya gerçeğinde olduğu gibi pandemi kaynaklı olduğu açıktır. Enerji verimliliği analizlerinde artık çevresel ve iklimsel etkiler açısından Net Sıfır (“Net Zero”) temelli projeksiyonlar yapılmaktadır. Bütün bunlar enerji verimliliği açısından değerlendirildiğinde, Net Sıfır insan kaynaklı çalışmalar nedeniyle atmosfere salınan ve sera etkisine neden olan karbondioksit, metan, azot oksit gibi gazların miktarını yeryüzü tarafından doğal olarak emilen sera gazı miktarıyla eşitlemek anlamına gelmektedir. Bir başka ifadeyle net sıfır, atmosfere yeni emisyonlar eklememek demektir. Yani salım devam edecek ancak bu, atmosferden eşdeğer miktarda gaz emilerek dengelenecektir. Bu yönde küresel anlamda ciddi senaryolar üretilmekte ve Türkiye de bu gelişmelere ciddi katkı vermektedir.

Enerji verimliliğine ilişkin genel uygulama alanlarına bakıldığında binaların yalıtımı ve ısı performansından güçlendirilmesi, imalat sanayiinde proseslerdeki iyileştirmeler, enerji verimliliği projelerinin uygulanması, elektrikli cihazlar için en fazla enerji verimli sınıflamaların ve standartlarının geliştirilmesi, motorlu taşıtların performansının iyileştirilmesi ve yakıt verimliliğinin artırılması, sürdürülebilir kentsel ulaşım ve entegre taşımacılığın özendirilmesi gibi başlıkların öne çıktığı görülmektedir [9,10]. Dünyada enerji verimliliğine ilişkin birçok politika veya eylem planları geliştirildiği görülmektedir. Sektör bazında değerlendirilme yapıldığında, sanayi ve binalardaki bazı enerji verimliliği uygulamaları ülkeler bazında benzerlikler göstermektedir. Dünyada birçok ülkede Kanada, ABD, Fransa, Hindistan, Şili, Japonya, İngiltere gibi ülkelerde Enerji Verimliliği düzenlemeleri olarak özetlenebilecek, Yeşil Evler, Kapsamlı Yıllık Enerji Planlamaları, Klimalar için sınırlamalar, Geleceğin Evleri Standartları ve Daha Performanslı Sistemler gibi başlıklar altında yasal düzenleme ve/veya planlamalar yapıldığı görülmektedir.

3. SONUÇ ve ÖNERİLER

Enerji verimliliği; enerji maliyetlerinin yükünün azaltılması, enerjide arz güvenliğinin sağlanması, dışa bağımlılıktan kaynaklanan risklerin en aza indirilmesi, düşük karbonlu ekonomiye geçiş ve çevrenin korunması, yerli enerji potansiyelinin en yüksek verimlilikte değerlendirilerek sürdürülebilirliğinin sağlanması gibi ulusal stratejik hedefleri tamamlayan ve bunları yatay kesen disiplinler arası stratejik çalışmalar bütünüdür [11]. Bu çerçeveden bakıldığında ve son dönemde pandemi süreci etkileriyle maliyetleri aşırı



dalgalanma gösteren enerji konusunda Türkiye'nin enerji verimliliği konusunda bir zorunluluğu bulunmaktadır.

Enerji verimliliği konusu, aşağıdaki başlıklar veya daha genişletilmiş alt alanlar kapsamında değerlendirilmeye, planlanmaya ve uygulanmasının denetlenmesine ciddi önem verilmeye çalışılmış ve önemli önlemler alınmıştır. Alınan önlemlerin, planlamaların, istatistiksel enerji değerlendirmelerinin eylem için yeterli olmayacağı açıktır. Bu konuda yaptırımları da içeren ek önlemlere gereksinim duyulduğu saha uygulamalarından anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, enerji kimlik belgesi çıkarılmış binaların büyük kısmının yüksek verimlilik düzeyinde olmadığı (enerji kimlik belgesi çıkarılmış bir milyondan fazla var olan ve yeni binanın ancak üçte biri kadarının C ve üzeri sınıfında olduğu), yeni yapılan binalarda bile istenilen performans düzeylerine ulaşamadığı izlenmektedir.

Enerji verimliliğinin sektörler bazında uygulamaya konulan yasal düzenlemeler çerçevesinde sanayi, binalar, enerji üretim tesisleri, ulaştırma, evsel kullanım gibi temel tasarruf kaynakları üzerinde çalışılmaya devam edilmeli ve gerektiğinde yasal düzenleme güncellemesi ile canlı tutulmalıdır.

Endüstriyel işletmelerin yapmak zorunda oldukları enerji değerlendirme ve raporlamalarının dikkatle izlenmesi,

Sanayi sektöründe enerji verimliliği projelerinin ve teşviklerinin artırılarak devam ettirilmesi,

Kamu kurum ve kuruluşları yerleşkelerinde yapılacak enerji verimliliği çalışmalarının titizlikle izlenmesi ve tanımlanan enerji verimliliği düzenlemelerine uygunluğunun denetlenmesi,

Binalarda Enerji Performans Yönetmeliğinde yapılan değişikliklerle iyileştirmeler yapılmış olan değişikliklerin, uygulamalarda ödün vermeden uygulanmasının sağlanması,

Eski binaların enerji verimliliği açısından mutlaka hızlı bir değerlendirmeye alınarak acil çözüm, öneri ve desteklerinin planlamalara dahil edilmesi,

Binaların enerji performans artırıcı projelerine banka destekleri konusunda planlama ve düzenlemelerin geliştirilmesi ve hibeli desteklerle özendirilmesi,

Yeni yapılaşmalarda alan kısıtlamasına bakılmaksızın performans sınıfının yükseltilmesi, yenilenebilir enerji kullanımının özendirilmesi hatta çatı uygulamalarının güneş enerjili sistemlerle donatılmasının sağlanması,

Büyük enerji dönüşüm sistemlerindeki enerji verimliliği potansiyellerinin belirlenmesi yanında atık enerjilerinin mutlaka değerlendirilme yollarının araştırılması,

Ulaşım sektöründeki kapasitesi düşük araçların yerine yüksek kapasiteli ve kişi başı enerji harcamaları düşük yöntemlerin özendirilmesi, gerekirse parasal olarak desteklenmesi,

Şehir içi ulaşımda toplu taşıma ve enerji harcamasız araçların özendirilmesi yanında ödüllendirilme çalışmalarının yapılması gibi önlemlerin alınması ve alınan önlemlerin uygulamasının izlenmesi gerektiği açıktır.

Sonuçta enerji verimliliği konusunda alınan önlemler, yapılan planlamalar, getirilen düzenlemelere ek olarak, özellikle yönetim birimlerinde bu konudaki bilincin yüksek olması çok önemlidir. Saha uygulamaları ve sonuçların etkinliğinin ısrarla izlenmesi çok daha önemlidir. Enerji verimliliğinin de diğer birçok alanda olduğu gibi kişisel bilinç ve inançtan geçtiği unutulmamalıdır. Enerji verimliliği ve bu konudaki bilincinde, ilerleyen yaşlarda anlatılamadığı ve genç yaşlarda hatta ilköğretim yıllarında verilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

KAYNAKÇA



- [1] Bilginoğlu, M.A. 1991. "Gelişmekte olan Ülkelerde Enerji Sorunu ve Alternatif Enerji Kaynakları", E. Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, sayı 9, Kasım 1991.
- [2] Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Resmî Gazete, Sayı 27075, 05.12.2008.
- [3] BP Statistical Review of World Energy, 70. Edition, 2021.
- [4] Çetinkaya, B. 2019. "Erken Cumhuriyet Dönemi Enerji Politikaları", Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karabük Üniversitesi.
- [5] Düzgün, B. 2014. "Türkiye'nin enerji verimliliğinin değerlendirilmesi: Beyaz Sertifikalar Sistemi'nin Türkiye'ye uygulanabilirliğinin incelenmesi", (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [6] Enerji Verimliliği Kanunu- 5627, Cilt 46, Sayı 26510, Resmî Gazete 02.05.2007.
- [7] Enerji ile İlgili Ürünlerin Çevreye Duyarlı Tasarımına İlişkin Yönetmelik, Resmî Gazete, Sayı 27722 07.10.2010.
- [8] Enerji Verimliliği Denetim Yönetmeliği, Resmî Gazete, Sayı 30470, 06.07.2018.
- [9] Enerji Görünümü, Türkiye Sınai Kalkınma Bankası, 2020.
- [10] Enerji Görünümü, Türkiye Sınai Kalkınma Bankası, 2021.
- [11] Eruslu, E. 2022. "Enerji Verimliliği ve Yalıtım", Isı, Ses ve Su Yalıtımı Dergisi, Sayı 153, Şubat 2022.
- [12] İktisadi Kalkınma Vakfı, Sorularla AB Politikaları ve Türkiye: Enerji Politikası, 2012.
- [13] Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2017.
- [14] Uzun İ, Isı Yalıtımı, Isı Yalıtım Malzemeleri, Mantolama, Isı Yalıtım Standartları, Belgelendirme Süreçleri, Bölgesel Seminerler, EPSDER, (Ankara, İstanbul, İzmir, Muğla, Elâzığ, Antalya, Adana), 2013-2020.
- [15] Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun-5346, Cilt 44, Sayı 25819, Resmî Gazete 18.05.2005.
- [16] Yılkıran, N. 2020. "Türkiye'nin Enerji Görünümü ve 2023 Yılı Birincil Enerji Arz Projeksiyonu", Batman University Journal of Life Sciences, Volume 10, Issue 2.



tmmob
makina mühendisleri odası

SANAYİ YAPILARINDA YALITIM Bengül BÖKE DİZ

İnşaat Mühendisi-Teknik Pazarlama Yöneticisi

ÖZET

Sanayi yapıları ve endüstriyel tesisler çeşitli alanlarda üretim faaliyetlerinin yürütüldüğü, yüksek enerji gereksinimlerine sahip yapılardır. Sanayi yapılarının sürdürülebilir ve uzun ömürlü olmalarında enerjiyi etkin ve verimli kullanmaları esastır.

Ülkemiz enerji ile ilgili istatistiklere baktığımızda 1970'li yıllardan itibaren nihai enerji tüketimindeki en yüksek pay bina ve sanayi sektörlerindedir. 2021 yılı sektörel nihai enerji tüketimlerinde de bu durum değişmemiş, en yüksek pay %31,1'lik oranla bina ve %33,7'lik oranla sanayi sektörlerindedir.

Bu nedenle sanayi yapılarında enerji verimliliği ele alınırken tesis ve idari binalar bir arada değerlendirilmez. Tesislerde üretim prosesinde enerjinin etkin kullanılması hedeflenirken, idari binalarda da gerekli tüm ısı, su, ses ve yangın güvenliği yalıtımları yapılmış, enerji verimli, ısı konfor ve iç hava kalitesi artırılmış, sağlıklı yapılar oluşturulmalıdır. Tüm bu kriterler detaya ve prosese uygun projelendirilmiş yalıtım çözümleri ile mümkün olmaktadır.

Endüstriyel tesislerde ısı enerjisi, tesisattaki ısı taşıyıcı akışkanlar vasıtasıyla taşınır. Tesisat ısı yalıtımı; herhangi bir prosese akışkanın taşınması sırasında meydana gelebilecek ısı kayıp veya istenmeyen ısı kazançlarının azaltılmasının en etkin yoludur. Ayrıca tesisatın korunarak ömrünün uzatılmasını, soğutma sistemlerinde yoğunlaşma oluşumunun önlenmesini, ısıtma sistemlerinde de enerji verimliliği yanı sıra işçi sağlığı ve iş güvenliğini sağlar.

Yalıtım uygulamaları ile düşük karbonlu ve enerji verimli üretime geçtiğimizde, coğrafi yakınlık avantajı ile ülkemizin AB ülkelerine olan ihracatının artması da sağlanacaktır. Bu çalışmada yalıtıma bu yönüyle bakıldığında makro düzeyde ülke ekonomisinin geliştirilmesi için daha da vazgeçilmez bir unsur haline geldiği anlaşılmaktadır.

Anahtar kelimeler: yalıtım, sanayi yapıları, endüstriyel tesis, enerji verimliliği, tesisat yalıtımı, ısı yalıtımı, ses yalıtımı, yangın yalıtımı

ABSTRACT

Industrial buildings and industrial facilities are structures with high energy requirements where production activities are carried out in various areas. It is essential for industrial buildings to use energy effectively and efficiently in order to be sustainable and long-lasting.

When we look at our country's energy-related statistics, the highest share in final energy consumption has been in the building and industrial sectors since the 1970s. This situation has not changed in sectoral final energy consumption in 2021, with the highest share in the building sector with 31.1% and the industrial sector with 33.7%.

For this reason, when considering energy efficiency in industrial buildings, facilities and administrative buildings should be evaluated together. While it is aimed to use energy effectively in the production process in the facilities, all necessary heat, water, sound and fire safety insulation should be made in administrative buildings, and healthy structures should be created with energy efficiency, thermal comfort and indoor air quality increased. All these criteria are possible with insulation solutions designed in accordance with the detail and process.

In industrial facilities, thermal energy is transported through heat carrier fluids in the installation. Plumbing thermal insulation; It is the most effective way to reduce heat loss or unwanted heat gain that may occur during the transportation of fluid in any process. In addition, it protects and extends the life of the installation, prevents condensation formation in cooling systems, ensures energy efficiency in heating systems as well as worker health and occupational safety.

When we switch to low-carbon and energy-efficient production with insulation applications, our country's exports to EU countries will increase with the advantage of geographical proximity. When we look at insulation from this aspect in this study, it is understood that it has become an even more indispensable element for the development of the country's economy at the macro level.



Key Words: insulation, industrial buildings, industrial facilities, energy efficiency, technical insulation, thermal insulation, sound insulation, fire insulation

1. MEKANİK TESİSATLARDA YALITIM

Sanayi tesislerinin artan enerji ihtiyacı ve enerji fiyatlarının her geçen gün yükselmesi işletme, dolayısıyla üretim maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Enerji kaynaklarına sahip olan ülkelerdeki politik istikrarsızlar, Rusya ile Ukrayna arasındaki savaş gibi nedenler hem enerji arzında problemlere hem de enerji maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Enerji ithalatı Türkiye'nin toplam ithalatının çok önemli bir paya sahiptir. Enerjisinin yaklaşık %70,7'sini ithal eden ülkemizde TÜİK ve Ticaret Bakanlığı tarafından oluşturulan geçici dış ticaret istatistiklerine göre tarafından açıklanan verilere göre 2021 yılı enerji ithalatı: 50,7 milyar \$ olarak gerçekleşirken 2022 yılında toplam enerji ithalatının 96,5 Milyar \$ olarak gerçekleşmiştir. Türkiye'nin enerji talebindeki artış ve maliyetlerdeki yükselme cari açığı önemli ölçüde arttırmaktadır. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından açıklanan 2021 yılı Enerji Dengesi raporunda yer alan istatistiklere göre ülkemizde enerji tüketimi 2020 yılına göre %9,1'lik artışla 123,1 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Sektörlere göre enerji tüketimi incelendiğinde Sanayi sektörünün yaklaşık %33,7'lik bir payla öne çıktığı görülmektedir.

Tesisat yalıtımı, içinden akışkan geçen borular, vanalar, havalandırma amaçlı kullanılan kanallar, radyatörler, kazan daireleri, hidrofor, soğutma üniteleri, kombi-boyler vb. cihazlarda ısı, ses, yangın yalıtımı yapılmasıdır. Bir binanın ısıtılması veya soğutulması için harcanan enerjinin azaltılmasının en etkin yolu mekanik tesisat yalıtımı yapılmasıdır.

Tesisatlar vücudumuzdaki damarlara benzer şekilde yapının her bölümünden geçerler. Bu sebeple gürültünün ve yangının tesisatlar vasıtasıyla yayılmasına yönelik tedbirler de alınmalıdır.

Tesisatta yalıtım bir bütün olarak ele alınmalı, ısı, ses ve yangın yalıtım çözümlerinin tümü birbiriyle uyumlu sistemler oluşturularak işçi sağlığı ve güvenliği göz ardı edilmemelidir. Yalıtım yapılacak tüm detaylarda uygun yalıtım malzemesi seçiminden sonra optimum yalıtım kalınlığı belirlenmeli, kalınlık seçimi ilgili yönetmelik ve standartlara uygun yapılmalıdır.

1.1 Tesisatlarda Isı Yalıtımı

Boruların ve havalandırma kanallarının içinde taşınan akışkanın ve havanın dış ortam koşul ve sıcaklıklarından etkilenmeden ısı kazanımını ya da ısı kaybını engelleyebilmek ve sistemin sağlıklı olarak çalışmasını sürdürmesini sağlamak adına yapılan işlemlere tesisatta ısı yalıtımı denir.

Özellikle ısıtma ve soğutma tesisatlarının, ısıtılmasına ve soğutulmasına gerek olmayan mahallerden geçen bölümleri ve bu bölümlerdeki vana ve armatürler yalıtıldıkları takdirde sağlanacak enerji tasarrufu çok önemli mertebelerdedir. Bu yüzden mekanik tesisatı oluşturan boruların, tankların, depoların, klima kanallarının, vanaların ve armatürlerin, içinden geçen akışkanın sıcak veya soğuk oluşuna göre uygun özelliklere sahip ve uygun kalınlıktaki yalıtım malzemeleri ile yalıtılmaları gerekmektedir. Isı yalıtımı ile bina ve tesislerin daha az enerji kullanarak ısınması veya serinlemesi dolayısıyla çevre kirliliğinin azaltılması, cihazların daha verimli çalışması ve parasal kazanç sağlanır.

1.2 Tesisatlarda Ses Yalıtımı

Cihazların çalışması sırasında çıkardığı ses, titreşim ve ısıl genleşmeler gürültünün temel sebeplerindedir. Borulardan geçen akışkan hızı, kanallardan geçen havanın kanal yüzeyine çarpmasıyla oluşan ses de gürültü olarak nitelendirilebilir. Bu tip ses ve titreşimlerin en aza indirilmesi için alınan tedbirlere tesisatta ses yalıtımı denir.

Gürültüler tesisat üzerindeki çapraz boru geçişleri, bitişik tesisatlar ve temas ettiği yapı bölümleri aracılığıyla yapıya iletilebilir. Bina tesisatından kaynaklanan gürültüler, teknik tedbirler alınmadığı takdirde komşu hacimlerde şiddetli seslere neden olacaktır. Bu tip tesisata; sıhhi, pis su, havalandırma ve klima, ısıtma tesisatları örnek olarak verilebilir. Su tesisatları armatür veya tesisattan iletilen ses, tavan ve duvarlar vasıtasıyla çok uzak bina hacimlerine kadar iletilebilir.

Hava doğuşlu seslerin yayılmaması için ya ağır malzeme kullanılmalı veya ses yutucu malzeme ile kaplanmalıdır. Katı doğuşlu sesin iletilmesini önlemek için de katı malzemenin katı malzeme ile direkt temas etmemesi gerektiğinden araya ses yutucu nitelikte fakat belirli basınca dayanımlı esnek bir malzeme (mineral yünler -camyünü, taşıyünü) konulmalıdır. Mesela tesisatın döşemeyi veya duvarı delip geçtiği yerdeki boşluklar montajdan sonra betonlanarak kapatılmakta, böylece gürültünün oluştuğu katı malzeme olan boru, yine katı malzeme olan betonla temas ettirilmiş olmaktadır. Geçişlerde bu teması önlemek için tesisatın döşeme veya duvar kalınlığı kadar olan kısmına dinamik sertliği düşük ses yutucu prefabrik boru yalıtım malzemesi ile yalıtılabildiği gibi, yangın güvenliği de göz önünde tutulduğunda camyünü, taşıyünü ile de yalıtım mümkündür. Böylece katı doğuşlu ses iletimi önlenmiş olacaktır. Pis su tesisatlarının aşırı



derecede yüklenmesi ile bölme duvar ve tavan boru geçişlerinden kaynaklanan seslerde bunlara dahildir. Kanal içinden geçen pis su tesisatının neden olduğu ses yayılımı kanal içlerinden ses yutucu iç kaplamalar vasıtasıyla emilmelidir.

1.3 Tesisatlarda Yangın Yalıtımı

Tesisat yalıtımında yangın güvenliği açısından en önemli noktalardan biri hem tesisatın yangın etkilerinden korunmasının hem de yangın esnasında mümkün olduğunca küçük bir hacme hapsedilen alev ve dumanın yayılmasının durdurulmasıdır. Yaşam alanlarımızda risk oluşturan ekipmanlar tesisat boruları, havalandırma kanalları, elektrik kablolarının, şaftların yangının ilerlemesinde en riskli noktalar olduğu bilinmektedir. Bu noktalarda yangının ilerlemesini engellemek için alınan tüm tedbirlere tesisatta yangın yalıtımı denir.

Boru geçişlerinde borular malzeme cinsine göre yanar borular ve yanmaz borular olmak üzere iki grupta toplanabilir. Yalıtım uygulamaları ve alınacak önlemler ise; tesisat malzemesinin yanıcılık özelliğine, tesisatın geçtiği yatay veya düşey yapı elemanının kalınlığına ve yapısına bağlı olarak da farklılık göstermektedir. Seçilecek yalıtım malzemeleri yüksek sıcaklığı dayanıklı ve yangın standardına göre hiç yanmaz A1 sınıfı malzemelerden olmalıdır. A1 sınıfı hiç yanmaz yalıtım malzemeleri ise mineral yünler grubu olup; ülkemizde genellikle 250 °C'ye kadar sıcaklıkların yalıtımında camyünü; 750 °C'ye kadar sıcaklıkların yalıtımında taşıyünü kullanılır.

Yangın kompartımanlarındaki duvar veya döşemeyi delip geçen tesisatlar için de özel önlemler alınmalı ve yangın güvenliğini etkileyebilecek açıklıklarda yangın durdurucu malzemeler kullanılmalıdır.

2. UYGULAMA ALANLARI

Tesisat yalıtımı;

- Tüm dikey ve yatay tesisat borularında, ısıtma ve soğutma yapılan havalandırma kanallarında, vanalarda, radyatör arkasında uygulanır.
- Binaların kazan daireleri ve hidroforlarda, kombi-boylar vb. ekipmanlarda ısı kaybını engellemeye yönelik ısı yalıtımı yapılır.
- Soğutma ünitelerinde, split klima ve klima santrallerinde ısı kazanımını ve yoğuşmayı engellemeye yönelik ısı yalıtımı yapılır.
- Havalandırma kanallarının içinde özellikle menfez çıkışlarından gelen sesin azaltılması için ses yalıtımı yapılır.
- Boru, hidrofor, brülör ve kazanlarda oluşan gürültü ve titreşimi engellemeye yönelik ses yalıtımı yapılır. Titreşim yayan cihazların zeminle temas ettiği noktalarda uygulanır.
- Genellikle yangın kaçış koridorlarını besleyen havalandırma kanallarında ve yatay-dikey geçişlerin olduğu şaftlarda (elektrik kabloları, borular, kanallar) yangını önleme amaçlı olarak uygulanır.
- Kazan dairelerinde iş güvenliği ve yangın riski açısından yüzey sıcaklığı yüksek olan ekipmanların (vana, kazan, flanş) dış yüzeylerinde yangın yalıtımı amaçlı uygulanır.
- Bacalar, ısı kaybı ve yoğuşmaya karşı yalıtılır.

3. TESİSAT YALITIMINDA MALZEME SEÇİM KRİTERLERİ

Isı kayıp ve kazançları, yüzeyin büyüklüğüne, yalıtılacak olan yüzey ile ortam sıcaklıkları arasındaki farka ve ısı yalıtım malzemesinin özelliklerine bağlıdır. Bu yüzden kullanılacak olan yalıtım malzemesinin özelliklerini ve nerelerde kullanılabileceğini çok iyi bilmek gerekmektedir. Yalıtım malzemesi seçiminde akışkanın sıcaklığı ve ortam sıcaklığı belirleyici bir özelliktir.

Tesisat ve endüstriyel uygulamalarda, tesisat içinden geçen akışkan sıcaklığına göre 3'e ayrılmaktadır.

1. **Soğuk Hatlar:** Akışkan sıcaklığı +6 °C'den düşük hatlar
2. **Ilık Hatlar:** Akışkan sıcaklığı +6 °C ile +100 °C arasındaki hatlar
3. **Sıcak Hatlar:** Akışkan sıcaklığı +100 °C'den daha yüksek hatlar

Ülkemizde yaygın olarak sıcak hatlarda camyünü, taşıyünü; soğuk hatlarda elastomerik kauçuk köpüğü tercih edilmektedir

Yalıtım malzemesinde kullanım sıcaklığına ilave olarak aranılacak diğer özellikler de şöyledir;

- **Isı iletkenlik katsayısı (λ):** Hesaplamalarda yalıtım malzemesinin maruz kaldığı sıcaklıklardaki ısı iletkenlik değerleri kullanılmalıdır.



- **Su buharı difüzyon direnç katsayısı (μ):** Soğuk hatlarda ya μ değeri yüksek olan kauçuk köpüğü gibi ürünler ya da camyünü ve taşıyünü kullanılacak ise yalıtım μ değeri yüksek olan alüminyum folyo, galvaniz sac veya plastik kaplamalar ile korunmalıdır.
- **Yangına karşı tepki sınıfı**
- **Korozif madde içeriği**
- **Uygulama rahatlığı**
- **Ekonomiklik**

Bir tesiste hangi detayda hangi ürün seçileceği, doğru ürün ile doğru detayı bir araya getirmek ve uygulamaların ısı köprüleri oluşturmayacak şekilde yapıldığından emin olmak yalıtımdan alınacak verimin artmasını sağlayacaktır.

Tesisatta ısı kayıp ve kazançları, yüzeyin büyüklüğüne, yalıtılacak olan yüzey ile ortam sıcaklıkları arasındaki farka ve ısı yalıtım malzemesinin özelliklerine bağlıdır. Bu yüzden kullanılacak olan yalıtım malzemesi seçilirken, malzemenin özelliklerini ve nerelerde kullanılabileceğini çok iyi bilmek gerekir. Yalıtım malzemesi seçiminde akışkanın sıcaklığı ve ortam sıcaklığı belirleyici bir özelliktir. Ülkemizde yaygın olarak sıcak hatlarda camyünü, taşıyünü; soğuk hatlarda elastomerik kauçuk köpüğü ürünler kullanılmaktadır.

Yalıtım malzemesinde kullanım sıcaklığı verisine ilave olarak hesaplamalarda yalıtım malzemesinin maruz kaldığı sıcaklıklardaki ısı iletkenlik (λ) değerleri de bilinmeli, hesaplamalarda bu veriler esas alınmalıdır.

Soğutma sistemlerinde ise yoğunlaşma oluşumunu önlemek için yapılacak yalıtımlarda su buharı difüzyon direnç katsayısı (μ) yüksek olan kauçuk köpüğü gibi ürünler seçilmeli ya da camyünü ve taşıyünü kullanılacak ise yalıtım mutlaka μ değeri yüksek olan alüminyum folyo, galvaniz sac veya plastik kaplamalar ile korunmalıdır.

Yine kullanılacak olan yalıtım malzemelerinin, yangına karşı tepki sınıfları, korozif madde içeriği, uygulama kolaylığı ve optimum maliyette olması malzeme seçiminde rol oynayan unsurlardır.

Tesislerde ısı yalıtımının yanı sıra önemli konulardan biri de ses ve titreşime karşı yapılacak yalıtımlar ile yangın yalıtımlarıdır.

4. YALITIM KALINLIĞI HESAPLAMA PROGRAMLARI ve BIM (YAPI BİLGİ MODELLEMESİ) Tesisat ekipmanlarında ısı kaybı, yoğunlaşma, yüzey sıcaklığı, donmanın zararlı etkilerinden korunması ve verim hesapları için gerekli yalıtım kalınlıkları TS EN ISO 12241'e göre hazırlanmış çeşitli yalıtım kalınlığı hesaplama programları ile yapılabilir.

Günümüzde Yapı Bilgi Modellemesi (BIM) ile bütünleşik bina tasarım yaklaşımı üzerinden çalışmalar yürütülmektedir. Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı, bina tasarımında farklı uzmanlık birikimlerinin çevreye müdahale ve bina yapma süreçlerinin en başından itibaren bir araya getirilmesini ve tasarım sürecinin tüm girdilerinin birbirleri ile etkileşim içinde ele alınmasını sağlamaktadır.

BIM ile yapıya dair tasarım, planlama, inşa etme ve yönetim süreçlerinde bütün disiplinler birbirleriyle koordineli çalışmaktadır. Bu sayede projedeki olası uyumsuzluklar yapı tasarım aşamasında fark edilebilir böylece yapım aşamasında maksimum verim elde edilerek yapım maliyetleri ve proje süresinde ekonomi sağlanır, projenin ömrü boyunca verimli bir çalışma ortamı meydana gelir.

Mekanik tesisat yalıtımı için kullanılan yalıtım sistemleri de BIM eklentileri ile kütüphanelere işlenir ve tasarımcı proje aşamasında yalıtım programları ile hesaplanmış olduğu kalınlıktaki yalıtım sistemini kolaylıkla seçebilir. Böylelikle tasarım ile uygulama arasında oluşabilecek uyumsuzluklar en başta ortadan kaldırılmış olur.

5. TESİSATLARDA ISI YALITIMININ FAYDALARI

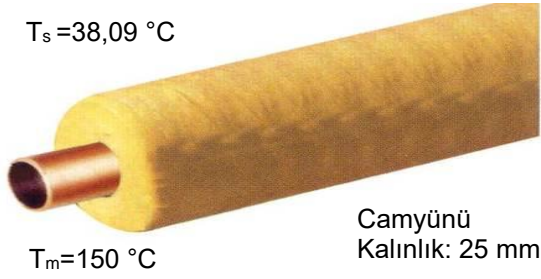
Endüstriyel tesislerde ısı enerjisi, tesisattaki ısı taşıyıcı akışkanlar vasıtasıyla taşınır. Tesisat ısı yalıtımı; herhangi bir proseste akışkanın taşınması sırasında meydana gelebilecek ısı kayıp veya istenmeyen ısı kazançlarının azaltılmasının en etkin yoludur. Ayrıca tesisatın korunarak ömrünün uzatılmasını, soğutma sistemlerinde yoğunlaşma oluşumunun önlenmesini, ısıtma sistemlerinde de enerji verimliliği yanı sıra işçi sağlığı ve iş güvenliğini sağlar.

Tesisat yalıtımında ortam ve akışkan sıcaklıkları arasındaki farkların binalara oranla çok daha yüksek olması yalıtımlı tesisatın enerji verimliliği potansiyelinin de çok daha fazla olmasını sağlamaktadır. Böylece yüksek enerji verimliliği sağlanan tesislerde yalıtım uygulamalarının geri ödeme süreleri de oldukça kısa olmaktadır.

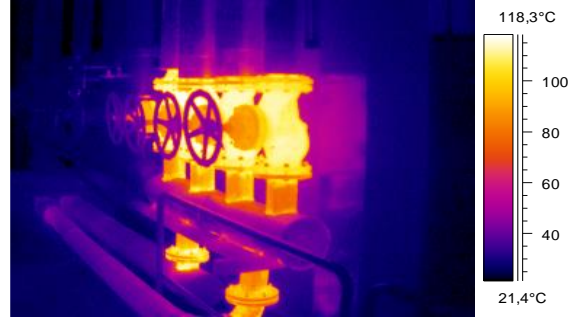
Sıcak hatlarda ortam ve akışkan arasındaki sıcaklık farkları binalara oranla çok daha yüksek olacağından yalıtımlı tesisatlarda enerji verimliliği potansiyeli de çok daha fazladır. Örneğin; 60 °C sıcaklığa sahip akışkan taşıyan, çapı 2" boru hattının 22 °C sıcaklığındaki bir ortamdaki bir ortamdan geçmesi durumunda birim boyda meydana gelen ısı kaybı 52,77 W/m iken aynı tesisatın 30 mm kalınlığında camyünü ile yalıtılması durumunda %86,91 oranında enerji verimliliği sağlanarak ısı kaybının 6,9 W/m'ye düşmesi sağlanmaktadır. Isı yalıtımıyla sağlanan yüksek olan enerji verimliliği, bu uygulamalarının geri ödeme sürelerinin düşük olması sonucunu da beraberinde getirmektedir.

Sıcak hatlarda yalıtım ile sağlanan fayda ısı kayıplarının azaltılması ile sınırlı değildir. İçerisinde yüksek sıcaklıklarda akışkan taşıyan tesisatlarda yalıtım uygulamaları ile, hattın çevresinde bulunan diğer teçhizat yada ekipmanın ve bu tesisat hatlarında görevli personelin de sıcaklık etkisinden korunması sağlanır. İşçi sağlığı ve iş güvenliği açısından bakıldığında tesisat elemanlarının dış yüzey sıcaklığının 60°C'nin altında olması gereklidir. Bu kriterin sağlanması için tesisat elemanları yalıtılmalıdır. Bu husus sadece vana gibi işçiler tarafından açılıp, kapatılabilen tesisat elemanlarının yanı sıra kişilerin çarpma, düşme vb. istemsiz temas etme olasılıkları da düşünülerek boru vb. tüm tesisat için göz önüne alınmalıdır.

Örneğin 25 °C ortam sıcaklığında bulunan ve içinden 150 °C akışkan geçen 1" boruda sadece 25 mm kalınlığında camyünü ile yapılan yalıtım uygulamasıyla yüzey sıcaklığının 38,09 °C değerine düşürülmesi mümkündür.



Resim 1



Resim 2

Bir vanayı yalıtılmamanın aynı çaplı borudan yaklaşık 3-4 m 'yi yalıtılmamakla aynı olduğu ve bu vanadan olan ısı kaybının 3-4 m borunun ısı kaybına eşdeğer olduğu gözden kaçırılmamalıdır.

Günümüzde vana yalıtımları için demonte edilebilen yalıtım ceketleri imal edilmektedir. Vana ceketleri, sıcak su ve buhar gibi ısıtma sistemlerinde vana yüzeyinde olan ısı kaybını, soğutma sistemlerinde ise ısı kazancını ve yoğuşmayı önlemek amacıyla kullanılmaktadır.



Resim 3



Resim 4

Aynı zamanda gürültünün ve yangının tesisatlar vasıtasıyla yayılmasına yönelik tedbirler alınması da tesisi ve tesis içerisindeki yaşamı koruyan unsurlardandır.

6. SINIRDA KARBON DÜZENLENMESİ ve ISI YALITIMI



Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM), Avrupa'nın 2050 yılına kadar dünyanın ilk iklim-nötr kıtasına dönüştürülmesi hedefiyle 11 Aralık 2019 tarihinde Avrupa Komisyonu tarafından açıklanmıştır. Avrupa Yeşil Mutabakatı hedeflerine ulaşmak için 14 Temmuz 2021 tarihinde sunulan "Fit for 55" ise Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması da (SKDM) dahil olmak üzere, Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sisteminin yeni alanlara yayılması, yenilenebilir enerji kullanımının teşvik edilmesi, AYM hedefleriyle uyumlu vergi sistemi gibi pek çok yasal düzenleme içeren bir paket taslağıdır. Teklifte yer alan SKDM ile Avrupa'nın rekabetçiliğinin korunabilmesi ve üretimin emisyon azaltım hedefinin AB'den az olan ülkelere kaymasının (karbon kaçığının) önlenmesi hedeflenmektedir. Taslak düzenlemeye göre SKDM için 2023-2025 yılları bir geçiş dönemi olacak ve bu aşamada demir-çelik, çimento, gübre, alüminyum ve elektrik sektörlerini kapsayacaktır. AB menşeli ithalatçıların herhangi bir ödeme yapmayacakları geçiş döneminde, ithalatçıların yalnızca ithal ettiği ürünlerde bulunan emisyonları bildirmeleri gerekecektir. Geçiş dönemi sonrasında ise, SKDM 2026 yılında yürürlüğe girecek ve AB İthalatçılarının, ulusal makamlara kayıt yaptırarak ürünlerde bulunan emisyonlara karşılık gelen sertifikalar satın almaları gerekecektir. Sertifikaların maliyeti, haftalık Emisyon Ticareti Sistemi fiyatlarına dayalı olarak €/ton CO2 için hesaplanacaktır. Sistemin yeni sektörlerle genişletilip genişletilmeyeceği konusu da Komisyon tarafından değerlendirilecektir.

Özetle, Avrupa Yeşil Mutabakatı (AYM), uluslararası ticaret arenasında rekabetçi olmak isteyen tüm sanayi tesislerinin enerji verimliliği projelerini hayata geçirmeye ve karbon ayak izlerini azaltmaya itmektedir. Dolayısıyla endüstriyel tesislerde yapılacak olan tesisat yalıtımı uygulamaları sağladıkları enerji verimliliği ve sera gazı salımlarındaki azalma ile sürdürülebilirlik anlamında öne çıkacaktır. Hayata geçirilecek olan tesisat yalıtımı uygulamaları ayrıca üretim maliyetlerindeki enerji yükünün azaltılmasına ve uluslararası pazarlarda fiyat avantajı sağlayarak rekabetçi çözümler sunarak mali sürdürülebilirliğe de katkı sağlayacaktır.

Yalıtım uygulamaları ile düşük karbonlu ve enerji verimli üretime geçtiğimizde, coğrafi yakınlık avantajı ile ülkemizin AB ülkelerine olan ihracatının artması da sağlanacaktır. Yalıtım bu yönüyle bakıldığında makro düzeyde ülke ekonomisinin geliştirilmesi için daha da vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir.

SONUÇ

Sanayi yapılarında yalıtım bina ve tesislerin tamamı düşünülerek bir bütün olarak ele alınmalı, ısı, ses ve yangın yalıtım çözümlerinin tümü birbiriyle uyumlu sistemler oluşturularak iş sağlığı ve işçi güvenliği göz ardı edilmemelidir.

Yalıtım yapılacak tüm detaylarda uygun yalıtım malzemesi seçiminden sonra optimum yalıtım kalınlığı da belirlenmelidir. Kalınlık seçimi tesisat konusunda çalışan makine mühendislerine danışılarak yönetmelik ve standartlara uygun yapılmalıdır. Yalıtım uygulamaları ile düşük karbonlu ve enerji verimli üretime geçtiğimizde, coğrafi yakınlık avantajı ile ülkemizin AB ülkelerine olan ihracatının artacağı da düşünülerek yalıtımın makro düzeyde ülke ekonomisinin geliştirilmesi için vazgeçilmez bir unsur haline geldiği bilinmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Dengesi Raporu,2021
- [2] TÜİK ve Ticaret Bakanlığı, Geçici Dış Ticaret İstatistikleri,2022
- [3] KARAKOÇ, H, İY Isı Yalıtım Kitabı,2021
- [4] İZODER, "Tesisat Yalıtımı Bilgilendirme Kitabı",2020
- [5] TMMOB Yayını, Endüstriyel Gürültü Kontrolü, Yayın No:118
- [6] Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı ile Proje Geliştirme Süreci Uygulama Kılavuzu, Mayıs 2016
- [7] BAYRAKTAR, G, Tesisatlarda Isı, Ses ve Yangın Yalıtımı, Tesisat Mühendisliği, Şubat 2000
- [8] AKDAŞ, M, Soğutma Sistemleri Yalıtımında Malzeme Seçimi ve Uygulamada Dikkat Edilmesi Gerekli Noktalar İzoder yayınları



tmmob
makina mühendisleri odası

17-18 KASIM 2023 – KOCAELİ

V I . E N E R J İ V E R İ M L İ L İ Ğ İ K O N G R E S İ



tmmob
makina mühendisleri odası

GÜÇ AKTARMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ UYGULAMALARI

Elektrik Motorları, Makineleri Harekete Geçirirken, Karbon Ayak İzini Azaltması Ve Dijital Dönüşüme Hazırlaması Gerekir.

Hasan Basri KAYAKIRAN

EMF Motor YK Başkanı, Makfed Türkiye Makina Federasyonu YK Üyesi ve Enosad Endüstriyel Otomasyon Sanayiciler Derneği Başkan Yardımcısı

Anahtar kelimeler: Motor verimliliği , Motor devir-tork-verimlilik eğrileri, Redüktörlü motor devir-tork-verimlilik eğrileri, Redüktörlü motor karşılaştırması, Motorda dijital dönüşüm

ÖZET

Elektrik motorları makineleri harekete geçirir. Günümüzde global pazarlarda rekabeti kazanmanın yolu, katma değeri yüksek üretimden geçmektedir. Motorlar hem verimli çalışarak karbon ayak izini silmeye katkıda bulunmalı, makinenin çalışma şartlarını yerine getirerek üretim hızı ve kalitesi artırmalı, fireyi ortadan kaldırmalı, bakım gerekliliğini azaltarak duruş ve üretim kaybını engellemelidir. Ayrıca gerekli sensörler ile donatılarak dijital dönüşüme hazır olmalıdır.

Sadece motor verimi değil, iş mili ve iş miline kadar olan tüm mekanik aksamların verimlilik hesapları titizlikle gözden geçirilmelidir. Sistem verimliliği önemlidir.

ABSTRACT

Electric motors set machines in motion. Today, the path to winning in global markets involves high-value-added production. Motors should contribute to erasing the carbon footprint by operating efficiently and meeting the machine's operating conditions, thus increasing production speed and quality, eliminating waste, reducing maintenance requirements, and preventing downtime and production losses. They should also be equipped with the necessary sensors to be ready for digital transformation.

It's not just motor efficiency that matters; meticulous consideration must be given to the efficiency calculations of all mechanical components, from the motor to the work shaft. System efficiency is crucial.

Key words: Motor efficiency, Motor speed-torque-efficiency diagrams, AC geared motor speed-torque-efficiency diagrams, AC geared motor comparison, IIoT on motors

GİRİŞ

Türkiye'mizden yeni bir motor türü piyasaya katılmıştır. Düşük devirlerde yüksek tork üreten senkron bir motordur. Bu motor, üniversitelerde henüz öğretilmeyen farklı bir motor fiziğiyle çalışır. Motor içindeki doğal mıknatıslar ve stator geometrisi, motor içinde manyetik bir redüksiyon oluşturur. Motor kayıpsız düşük devirde çalışır ve IE5 motorlardan daha verimlidir. İş miline doğrudan bağlanır ve sistem verimliliğini düşüren kayış kasnakları ve redüktör gibi ekipmanlara ihtiyaç duymaz.

Bu bildiri akademik bir çalışma değildir. Ancak yeni bir teknolojiye eleştirel yaklaşan mühendis ve ekonomistleri ikna etmek için hazırlanan, güvenilir ve tekrarlanabilir sonuçları gösteren ve iyi bir mühendislik ile farklı çalışmalardan derlenen bir yazıdır.

1.ELEKTRİK MOTORLARI



Sanayide Elektrik motorları küresel elektriğin yaklaşık %45'ini tüketiyor. Sadece Avrupa'da eski verimsiz motorların yerine yüksek verimli motorların kullanılması, yıllık enerji tüketimini 135 TWh2 ve CO2 emisyonunu 69 milyon ton2 azaltabilir. Bu miktar 2021 yılında Avrupa'daki tüm enerji üretiminin %20'sini üreten nükleer santrallerin üretim kapasitesine eşittir. Diğer bir yaklaşım ile enerji tasarruf edilebilseydi Avrupa'daki nükleer santrallara ihtiyaç olmazdı.

Dünya nüfusunun hızla artması ve iklim değişikliği, denizlerin ısınmasıyla suların yükselecek olması sonsuz olmayan enerji kaynaklarını çok dikkatli kullanmamız gerektiğini dünyaya gösteriyor.

Teknolojinin gelişmesi ile doğru akım ve bilezikli motor gibi bazı motor türleri üretimden kalktı. Senkron relüktans, daimi mıknatıslı senkron relüktans, fan soğutmalı senkron ve asenkron ve tork motorları yeni motor türleri olarak üretime girdi.

% 80 Pazar payına sahip sincap kafesli asenkron motorlar önemli avantajlar sunuyorlar.

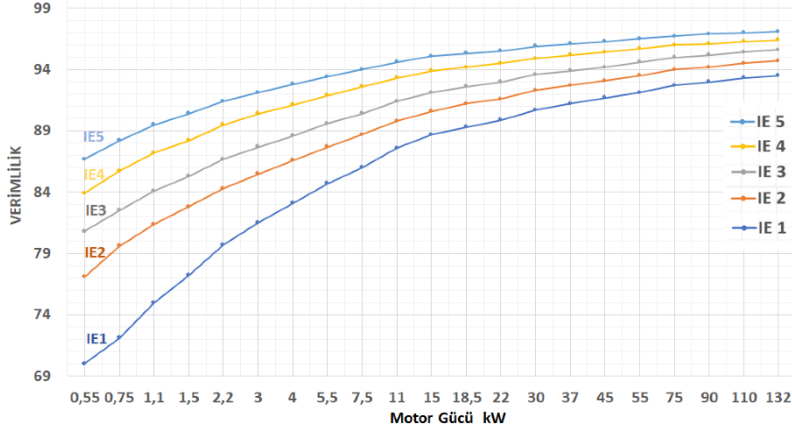
- Fiyat / performans oranının yüksekliği
- Yoğun rekabet ile doğru fiyatlandırma
- Raf Ürünü olması ile hızlı ulaşım
- Uluslararası standartlara uygunluk
- Bakım kolaylığı
- Yüksek bilinirlik
- Marka bağımlılığı yok

Ayrıca hem redüktör hem de sürücü tedarikçileri de kendi ürünlerini geliştirerek asenkron motoru daha cazip hale getiriyorlar.

Motor Pazarının %70'ını pompa, fan ve kompresör gibi yüksek devir gerektiren uygulamalar oluşturuyor. Bu uygulamalarda motor mili direk iş milini tahrik ediyor. Motor verimliliğinin yanı sıra döner aksamında verimli bir şekilde tasarlanması önemlidir. Ancak sadece motor verimliliği değil sistem verimliliğinin esas alınması enerji verimliliğinin hedefe ulaşmasında bizi başarıya götürür.

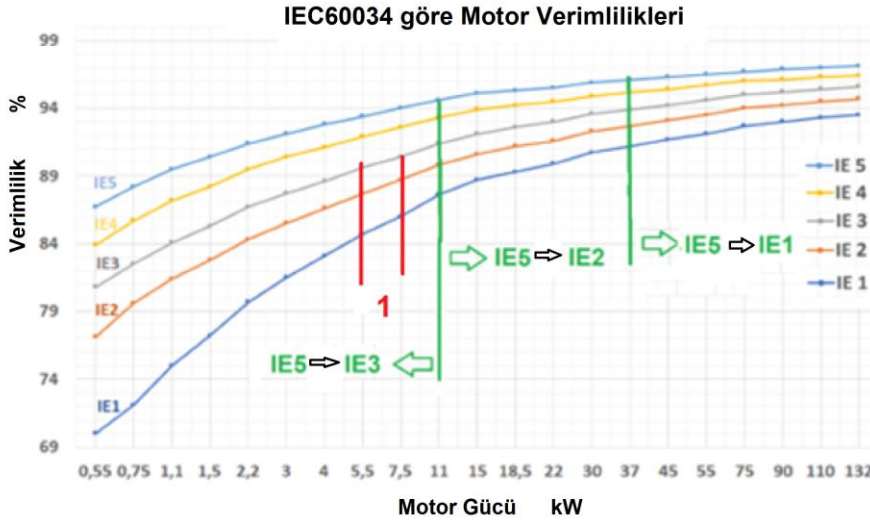
Endüstriyel bazı uygulamalar iş milinin düşük devirli çalışmasını gerektirir. Genelde motor devirleri yüksek olduğu için, motor devrini kayış-kasnak ve redüktör, iş mili devrine düşürür. Devir çevrim oranı ile iş milindeki tork da artar. Ancak her mekanik aksam yanında enerji tüketimini getirir. Enerji kaybı kayış, kasnakta %2-8 ve redüktörde ise %2-40 arasında değişir. Bu sebeple sistem verimliliğine bu uygulamalarda da özen gösterilmelidir. Motor verimliliğinin yanı sıra motordan başlayarak motorun tahrik edeceği iş miline kadar tüm ekipmanların da verimli olması sistem verimliliğini başarıya götürür. Ayrıca motor ve tahrik elemanlarının tüm mekanik bağlantıları ve toleransları da gözden geçirilmelidir.

Bu günlerde 75 ile 200 kW motorlarda IE4 ve geri kalan 0,75 ile 1.000 kW IE3 sınıfında kullanılması zorunludur. Ancak motor güçleri arasında verimlilik farkları azdır. IE4 sınıfında 1,1 kW'a kadar verimlilik farkı iki puan iken, verimlilik farkı 15 kW'a kadar sadece bir puana düşüyor. Daha yüksek güçlerde ise verimlilik farkı 0,3 puana kadar iniyor. Bu sebeple motor milinden iş miline kadar kullanılan mekanik aksam verimlilikleri büyük önem arz ediyor.



Şekil 1: IEC60034'e göre en verimli kutup sayısına sahip motorların verimlilikleri

Bu tabloda en verimli motor kutup sayısının verimlilik eğrileri gösterilmektedir. IE1 ile IE4 arasındaki verimlilik sınıflarında 4 kutuplu motorlar ve IE5 verimlilik sınıfında ise 1201 ile 1.800 d/d aralığında çalışan motorlar en verimlilerdir.



Şekil 2: Redüktör ve Ek Tahrik Elemanlarının Toplam Verime etkisi

İş miline kadar takılan mekanik ekipman veriminin sisteme etkisini birkaç örnek ile açıklamak istiyorum. 11 kW'a kadar IE5 motora %95 verimli tek kademeli redüktör bağlanırsa toplam sistem verimliliği IE3 sınıfı seviyesine düşecektir.

15 kW'tan 30 kW'a kadar IE5 motora %95 verimli tek kademeli redüktör bağlanırsa toplam sistem verimliliği IE2 sınıfı seviyesine düşecektir.

37 kW üzerindeki IE5 motora %95 verimli tek kademeli redüktör bağlanırsa toplam verim IE1 sınıfı seviyesine düşecektir.

1. EMF MOTOR YÜKSEK TORK DÜŞÜK DEVİRLİ SENKRON MOTOR

EMF Motor, düşük devirlerde yüksek tork üreten senkron bir motor üretir. Bu motor, üniversitelerde henüz öğretilmeyen farklı bir motor fiziğiyle çalışır. Motor içindeki doğal mıknatıs ve stator geometrisi, motor içinde kayıpsız bir manyetik redüksiyon oluşturur. Altı kutup sargılı motor, bu motor prensibinde 66 kutuplu bir motor olarak çalışır. 50 Hz'de döner alan 1.000 d/d ile dönerken rotor 90,9 d/d ile hareket eder.

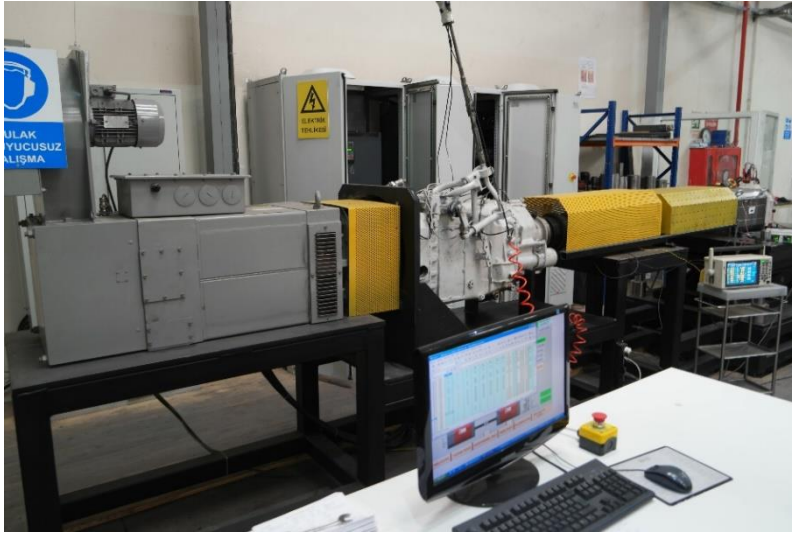
Motorun geliştirilmesinde tüm Ar-Ge çalışmaları Türk mühendisleri tarafından Türkiye'de gerçekleştirilmiştir. Proje, TÜBİTAK ve KOSGEB tarafından desteklenmiştir. Uluslararası patentimizde bir Türk, mucit olarak kayıtlıdır.

2. REDÜKTÖRLÜ MOTOR VE EMF MOTOR KARŞILAŞTIRMASI

AC motor ve redüktör kataloglarında farklı devir ve yüklenmelerde verimlilik bilgilerinin epeyi eksik olması böyle bir detaylı testin gerekli olduğunu gösterdi. AC motor kataloglarında genelde verimlilikler %50, %75 ve %100 yük için verilmektedir. Ancak farklı devirler için bilgi bulunmamaktadır.

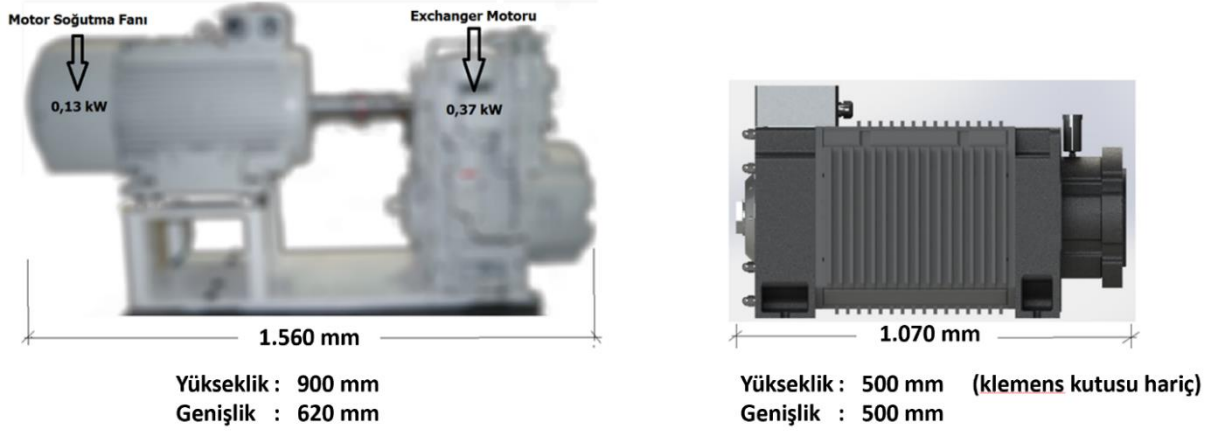
Test edilen AC redüktörlü motor teknik verileri: 45 kW, 1.470 d/d, 292 Nm, IE2- Sürücü ile çalıştırıldı. Kullanılan redüktör çevrim oranı 1:9,64, redüktör çıkış devri 152 d/d ve kayıplar göz önüne alınmadan teorik torku 2.844 Nm. Motor verimi % 93.1.

Karşılaştırma için EMF senkron tork motoru teknik verileri: 45,7 kW, 150 d/d, 2.910 Nm, motor verimliliği %95,2. Motor sürücü ile çalıştırıldı.



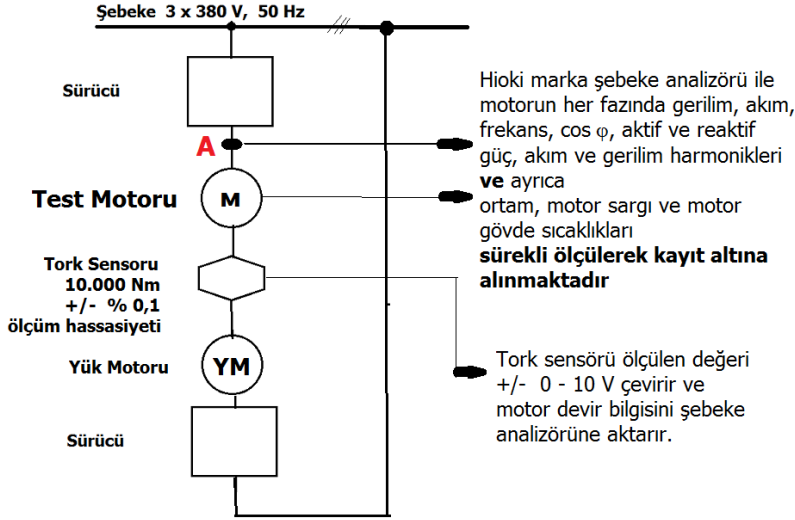
Resim 1: Ölçümlerin yapıldığı EMF Motor Fabrikası Test Odası

Test motoru ile yük motoru arasında 10.000 Nm tork sensörü kullanıldı. Tork sensörü ölçüm hassasiyeti +/- % 0.1, tüm elektriksel değerler Hioki marka enerji analizörü ile ölçülüp bilgisayara kaydedildi. Testler sırasında ortam, sargı ve motor gövde sıcaklıkları kaydedildi. Ölçümlerin aynı şartlarda yapılmasına ve tekrarlanabilir olmasına özen gösterildi.

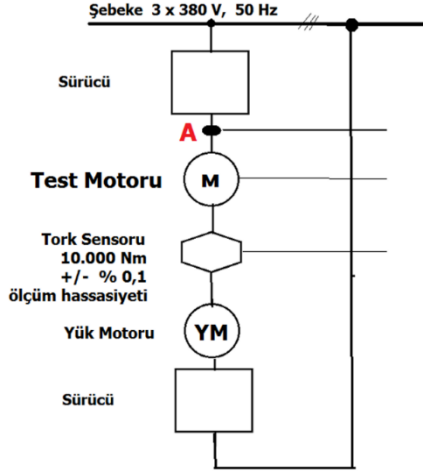


Resim 2: Ekstrüdere özel AC Redüktörlü Motor ve direkt tahrik SQME motor

Redüktörde su soğutma girişi bulunmaktadır. Ancak redüktör kataloğunda 58 kW'a kadar ısıyı gövde üzerinden atabileceği belirtilmiştir. Bu sebeple verimlilik hesaplamasına katılmamıştır.



Şekil 3: Ölçüm noktaları ve ölçülen değerler



Motor Mil Gücü

$$P_M \text{ (kW)} = \frac{T \text{ (Nm)} \times n \text{ (d/d)}}{9550}$$

$$P_M \text{ Hesaplanan} = T_{\text{ölçülen}} \times n_{\text{ölçülen}}$$

Motor Verimliliği

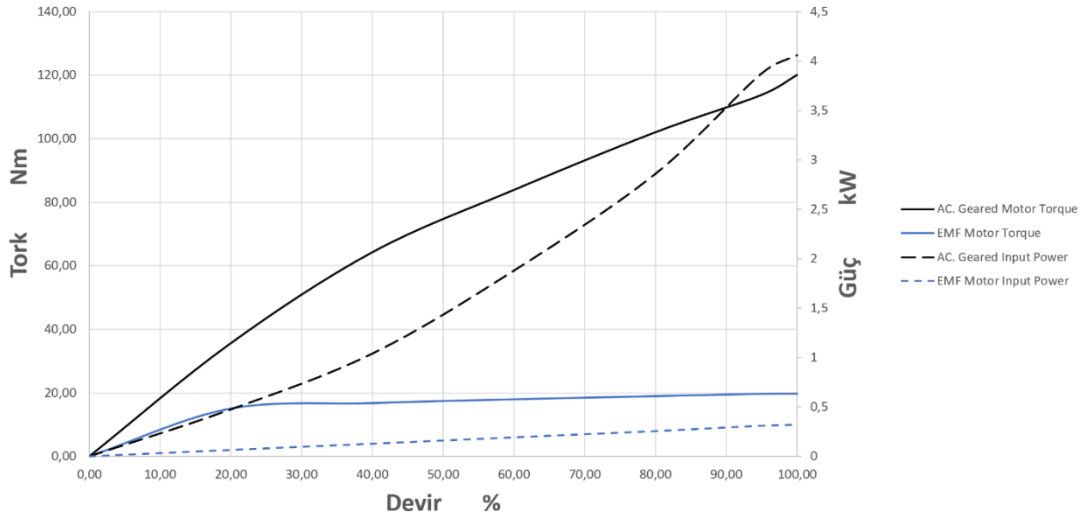
$$\eta \text{ (\%)} = \frac{P_M \text{ (kW)}}{P_A \text{ (kW)}} \times 100$$

P_A ... A noktasında ölçülen aktif güç

P_M ... motor mil gücü

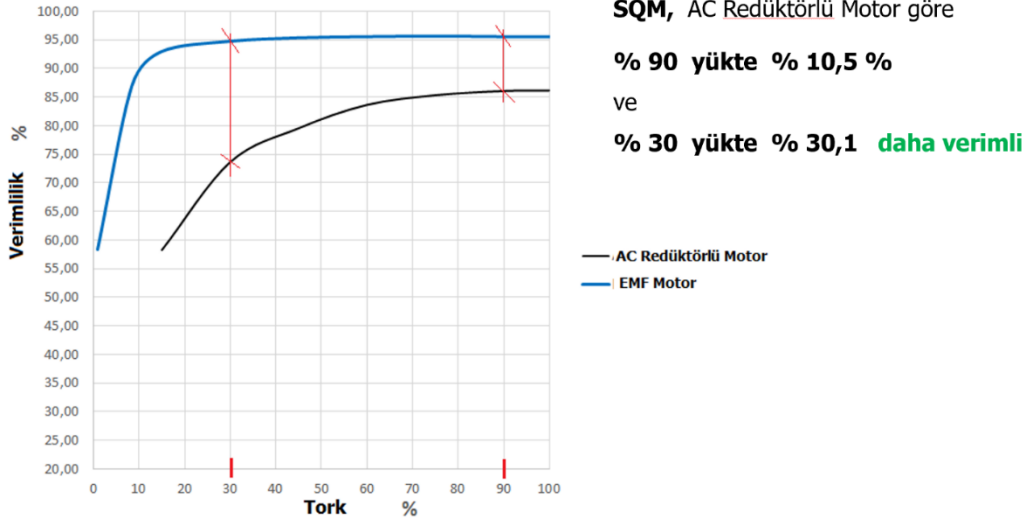
Şekil 4: Ölçülen değerler ile verimliliğin hesap yöntemi

Motor mil gücü, tork sensörü ile ölçülen tork ve enkoder üzerinden ölçülen devir sayısı ile hesaplanır. Motor mil gücünden sonra enerji analizörü ile ölçülen aktif güç üzerinden motor verimliliği hesaplanır.



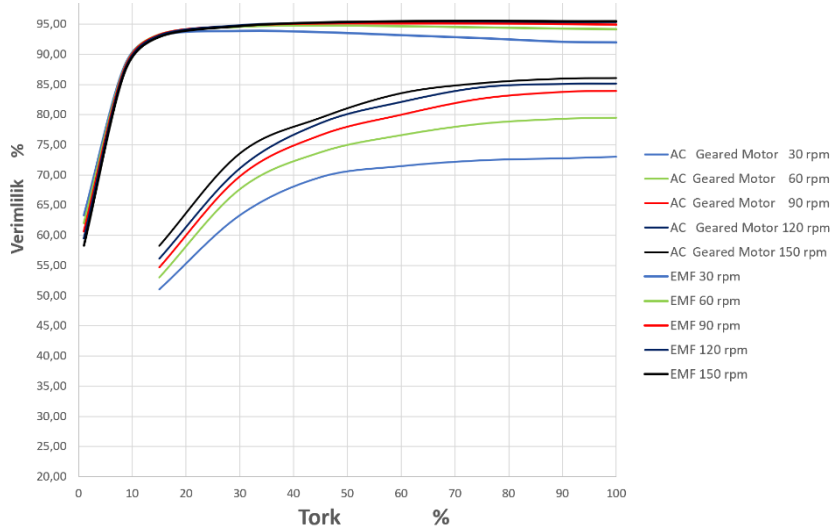
Şekil 5: Yüksüz ve Farklı Devirlerde Tork ve Güç Karşılaştırması

Redüktörlü AC motor boşta çalışırken anma devrinde 4 kW güç harcarken direk bağlanan EMF Motor sadece 0,7 kW enerji tüketir.



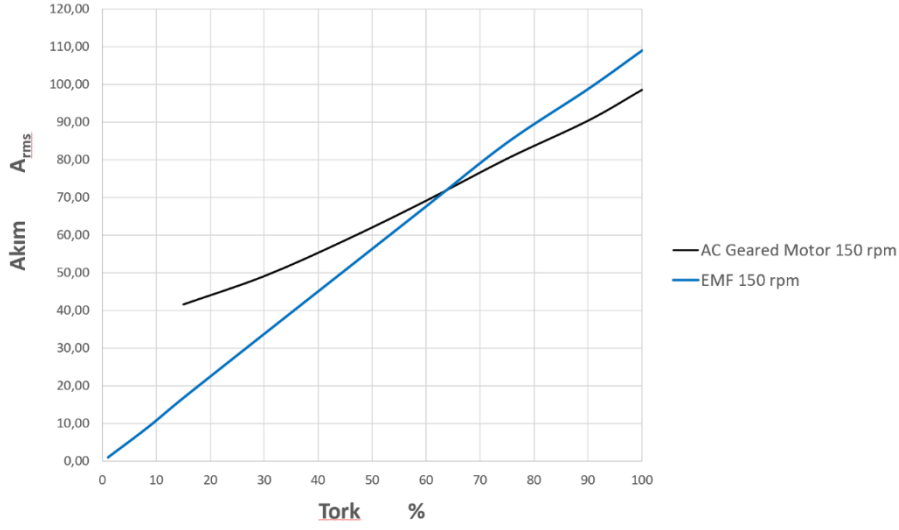
Şekil 6: Anma Devrinde ve Farklı Yüklerde Verimlilik Karşılaştırması

Anma devrinde farklı yüklerde motor verimlilikleri ölçüldü. Redüktörlü AC motor %20 torkun altında sağlıklı verimlilik değerleri gösteremedi. EMF Motor ise ilk yüklemelerde bile %60 verimlilik gösterdi. %15'in üzerindeki torklarda ise EMF Motor anma verimlilik değerlerinde çalıştı.



Şekil 7: Farklı devir ve yükleme şartlarında verimlilikler

EMF Motor farklı devir ve farklı yüklenmelerden etkilenmeyen bir görüntü veriyor. Tüm verimlilik eğrileri üst üste geldi. Redüktörlü AC motor ise değişen devir sayılarına da verimliliği düşürerek tepki gösterdi.



Şekil 8: Tam Devirde Akım – Tork Eğrisi Karşılaştırması

EMF Motor tipik senkron motor tepkisi ile motor akımı motor torkuna direk orantılı olarak çalışıyor. Redüktörlü AC motor ise ancak 40 A'de %15 tork üretmekle cevap vermeye başlıyor. Devam eden yüklenmelerde ise bir orantı vermek zor gözüküyor.

3. EKSTRUDER ÜZERİNDE YAPILAN SAHA TESTİ

Müşterinin ana isteği hızla yükselen enerji maliyetlerini aşağıya çekmekti. Makinede kullanılan AC motor 37 kW, 1.475 d/d, 67 A, kullanılan redüktör çevrim oranı 1:14,8 ve Kayış-Kasnak çevrim oranı 1:1,48. Redüktörde ayrıca bir eşanjör pompası 0,55 kW, 1.365 d/d, 1,6A kullanılmaktaydı.

Önce müşterinin mevcut makinesinde istediği çalışma şartlarında enerji analizörü motor verileri ve ısıtıcı verileri ölçülerek kaydedildi. Ekstrüder vida devri 67 d/d idi ve HDPE malzeme kullanıldı.

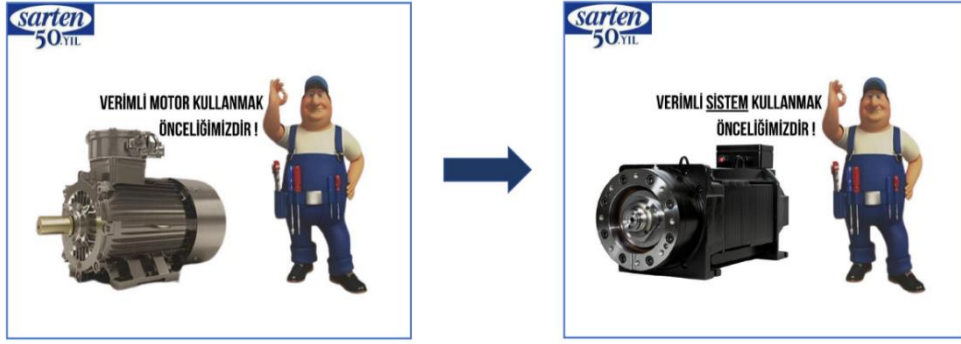
Ölçümler sonrasında mevcut makine üzerindeki eski motor, redüktör ve kayış-kasnak söküldü. EMF Motor ekstrüdere monte edildi ve vida direkt olarak motor delik miline bağlandı. 4.100 Nm, 70 d/d, 30.5 kW, 97A.

Her iki aşamada da ölçümler ikişer saat kadar sürdü. İkinci aşamada aynı çalışma şartlarında ölçümler yapıldı. Yapılan enerji analizinde %25 (4,87 kW) enerji tasarrufu sağlandığı görülmüştür.

Enerji tasarrufunun yanı sıra müşterinin mutlu olduğu diğer konular da bakım gerektiren ve duruşa yol açan mekanik aksamlardan kurtulmaları ve çevre gürültü kirliliğinin (82 dB 67 dB'e indi) azalması oldu.

SARTEN AMBALAJ EMF MOTOR ENERJİ ANALİZİ KARŞILAŞTIRMASI											
ÖNCESİ				SONRASI							
AC MOTOR				REDÜKTÖR				EMF MOTOR			
ÜRÜN KODU:				ÜRÜN KODU:				ÜRÜN KODU:			
GAMAK GMZE 225 S.4				BONFIGLIJLI 310F214-V35B-2				SQME250-400070FD11-2E2088			
kW : 37				Oran : 14,8				kW : 30,5			
RPM : 1475				KAYIŞ KASNAK				RPM : 70			
ASM Fan YOK				ASM Eşanjör VAR				Büte Rulmanı : 29428			
kW : -				kW : 0,55				Motor Akımı : IP54			
RPM : -				RPM : 1385				Verim : 96%			
EK BİLGİLER				EK BİLGİLER				EK BİLGİLER			
HAMMADDE TÜRÜ:				HAMMADDE TÜRÜ:				HAMMADDE TÜRÜ:			
HDPE				HDPE				HDPE			
VIDA ÇAPı : 80				VIDA ÇAPı : 80				VIDA ÇAPı : 80			
SİSTEM ÇALIŞMA HIZI				SİSTEM ÇALIŞMA HIZI				SİSTEM ÇALIŞMA HIZI			
67 RPM				67 RPM				67 RPM			
U (V)				I (A)				P (kW)			
399,92				56,23				20,23			
P (kWh)				P (kWh)				P (kWh)			
19,10				19,10				19,10			
U (V)				I (A)				P (kW)			
399,64				25,55				15,3			
P (kWh)				P (kWh)				P (kWh)			
14,78				14,78				14,78			
Miktar [kW]*				Miktar [kW]*				Miktar [kW]*			
4,87				4,87				4,87			
Oranı				Oranı				Oranı			
25%				25%				25%			

Resim 3: Ölçüm raporu



Resim 4: Müşterimiz fabrika içinde verimlilik bilincini artırmak için kullandığı afişlerde de motor resmini EMF Motor resmi ile değiştirdi.

4. SONUÇ

4.1. Seramik Fabrikasında Yapılan Uygulama Sonuçları

Glazur tanklarına redüktörlü motor takılı idi. Glazur imal edilmeye başladıktan tüketilince kadar sürekli karıştırılması gerekiyor. Müşterinin ana problemi glazur tankına redüktörden yağ aktığında tankın içindeki malzemenin imhası gerekiyordu. Farkına varılmadığı durumda ise üretilen seramik ya ikinci kalite olarak satılabiliyordu, yada imha ediliyordu.

Redüktörlü AC motor yerine EMF Motor takılınca müşterinin ana problemi tamamen ortadan kalktı. Ayrıca %67 enerji tasarrufu ölçüldü. Gürültü kirliliği azaldı ve bakım gerektirmediği için duruş ve üretim kaybı ortadan kalktı. Müşterinin motivasyonu artınca fabrikadaki 300 adet 37 kW redüktörlü motor EMF Motor ile değiştirildi.



Resim 5: EMF Motor ile değiştirilmiş Glazur tankları (turuncu olanlar ilk takılan motorlar)

KALESERAMİK Glazur Karıştırıcıları projesi ile Enerji Bakanlığında enerji verimliliği birincilik ödül aldı.

4.2. Soğutma Kulesinde Yapılan Uygulama Sonuçları

Soğutma kuleleri 7 gün / 24 saat çalışan ve üretimin sağlıklı yürümesi için gerekli olan bir yardımcı tesislerdir. Soğutma suyunun yeterli olmaması durumunda üretim durur veya yavaşlar. Soğutma kulelerinde pervane ortada doksan dereceli bir redüktör tarafından döndürülür. Motor soğutma kulesinin dışında suya direk maruz kalmayacak bir yere konur. Motor 2-3 metre uzunluğunda bir mil ile redüktöre bağlanır. Bu uzun milin her iki ucunda kaplin bulunur.

Bir demir çelik fabrikasının bir soğutma kulesinde ölçümler yapıldı. Hava debisi de ölçüldü. İlk ölçüm mevcut redüktörlü AC motor ile yapıldı. Kullanılan motor ve redüktör verileri şöyle idi. 37 kW, dört kutuplu motor, redüktör çevrim oranı 1:6,11 ve teorik tork ise 1.464 Nm.

Daha sonra mevcut motor söküldü. EMF Motor soğutma kulesinin ortasında pervaneyi direk döndürdü. EMF Motor ile aynı işletme şartlarında, aynı hava hızı ve aynı hava debisinde ölçüm yapıldı.

EMF Motor, soğutma kulesi motoru ile % 27,25 daha az enerji tüketimi sağlandı. Ayrıca redüktör olmadığı için bakım ve duruş – üretim Kaybı ortadan kalktı. Sessiz çalışması ile çevre gürültü kirliliği 6 dB azaldı.



Enerji Maliyeti 4 TL/kWh		EMF Motor SQM	Asenkron Motor & Redüktör
Şebekeden Çekilen Enerji	kW	24,43	33,58
Günlük Çalışma Süresi	h	24	24
Günlük Çekilen Enerji	kWh	586	806
Yıllık Çalışma Gün Sayısı	gün	320	320
Çekilen Yıllık Enerji	kWh	187.622	257.894
Yıllık Enerji Maliyeti	TL	375.244	515.788
Yıllık Enerji Tasarrufu	TL	140.544	

Resim 6: Karşılaştırmalı enerji tasarrufu ve tasarruf bedeli

Bu soğutma kulesinde yıllık 79.272 kWh enerji tasarruf edildi. Bir kWh enerji maliyetinin 4 TL olarak alındığında bir yılda 140.544 TL'lik enerji tasarruf edilmektedir.

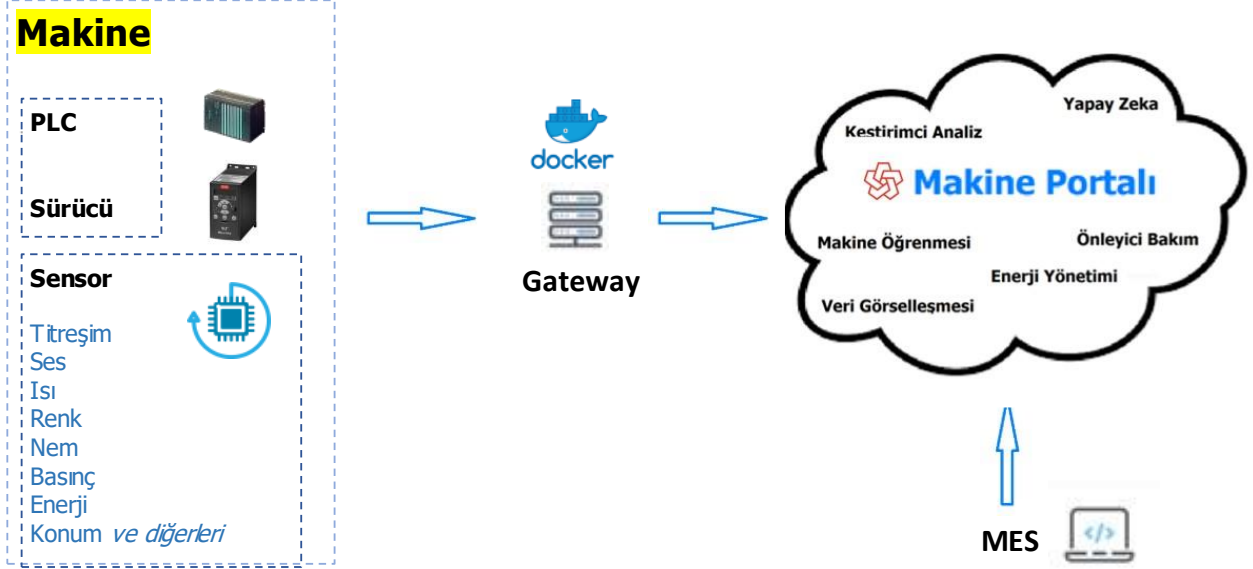
4.3. Dijital Dönüşüm Ön Hazırlığı

EMF Motor, Akıllı Motor ve Makine Portalı ile müşterilerine imal ettiği motorların anlık olarak çalışma durumlarını ve verilerini sürekli izleme imkanı sunuyor.

Motor içine takılacak bir sensör üzerinden motor titreşimini, motor sesi ve motor ısı ölçülür. Her motora takılan sensör bilgileri kablosuz ağ üzerinden gateway'e gönderilir.

Ayrıca, bir haberleşme ağı ile birbirine bağlanan PLC ve motor sürücülerinden motor çalışma devri, akımı, şebekeden çekilen güç, çalışma süresi, arıza türü, arıza süresi ve izlenmesi istenilen tüm proses verileri bir Soft PLC üzerinden buluta gönderilir. Bir SCADA veya üretim yönetim sistemine ihtiyaç duymadan eş zamanlı üretim verilerine en doğru şekilde ulaşılması ve izlenebilirlik sağlanır. Kestirimci Bakım, tam zamanında bakımdır. Kestirimci bakım, makina veya ekipmanlardan bazı fiziksel verilerin alınıp işlenmesinden sonra arızanın ne zaman gerçekleşebileceğini, yüksek bir doğrulukla, yeteri kadar zaman önce bilebilmektir. Makine verilerine yansıyan, üretim anomalilerinin eş zamanlı saptanmasını sağlar.

Bu sistem ile tesisin ERP ve MES sistemleri ile bağlantı imkanı artar. Sadece üründen değil hem dijital hem de klasik servisten para kazanma imkanı verir. Örneğin, sensör ve yapay zeka ile dijitalleşen sigorta/garanti hizmeti verilebilir veya kullandıkça öde iş modeli oluşan artı katma değer firmalar arasında paylaşımına imkan verir.



Resim 7: Motor verilerinin buluta taşınarak Dijital Dönüşüm

KAYNAKÇA

- 1 Wilde, C. U. Brunner, International Energy Agency, Working paper, 2011.
- 2 ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V., Division Automation Electric Drive Systems, Frankfurt, December 2010, 2nd Edition



RAFİNERİLERDE ENERJİ SANTRALLERİNİN OPTİMİZASYONU

Ziya Gürün*

- Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Umuttepe, İzmit-Kocaeli,

ziyagurun@gmail.com

ÖZET

Rafineriler benzin, motorin ve jet yakıtı gibi akaryakıt ürünlerini üretirken yüksek miktarda enerji tüketen tesislerdir. Enerji maliyetlerinin düşürülmesi rafinerilerin faaliyetlerini ekonomik bir şekilde yürütebilmeleri için zorunludur. Bu nedenle rafinerilerde çalışan enerji santrallerinin mevcut piyasa koşullarında optimize edilmesi enerji maliyetlerinde tasarruf sağlanması için gereklidir. Bu çalışmada bir rafinerinin elektrik enerjisi, 40 bar-g ve 10 bar-g buhar taleplerini sağlayacak bir kojenerasyon üretimi yapan enerji santrali tasarlanmıştır. Bu santral in modellenmesi ve optimizasyonu ASPEN-Hysys yazılımı yardımıyla yapıldı. Üç farklı senaryo için mevcut elektrik enerjisi ve doğal gaz piyasa fiyatları kullanılarak bu enerji santrali optimize edilmiştir. Bu senaryolar rafinerinin normal enerji talepleri, yüksek elektrik enerjisi talebi ve yüksek buhar talebi olarak tanımlanmıştır. Bu senaryolar için yapılan optimizasyon çalışması sonucunda sırasıyla yıllık \$2.88 Milyon, \$4.53 Milyon ve \$2.97 Milyon enerji maliyetlerinde tasarruf sağlanabileceği görüldü. Ayrıca, burada geliştirilen model ve yöntemin, enerji santralleri tasarlanırken farklı konfigürasyonların değerlendirilmesinde, yatırım kararlarının alınmasında, farklı senaryoların incelenmesinde enerji fiyatlarının değişiminde ve günlük operasyonların sürekli olarak optimize edilmesinde kullanılabileceği önerilmiştir.

1.0 GİRİŞ:

Rafineriler, ham petrolden benzin, motorin ve jet yakıtı gibi temel petrol ürünlerinin üretildiği yüksek enerji tüketiminin gerçekleştiği tesislerdir. Bu tesislerde tüketilen enerjinin ekonomik bir şekilde üretilmesi, rafinerinin karlı bir çalışması için zorunludur. Bir rafinerinin tükettiği enerji kaynakları, değişik basınç seviyelerinde buhar, elektrik enerjisi ve yakıt olarak özetlenebilir.

Bu çalışmada, bir rafineride tüketilen yüksek basınçlı buhar, orta basınçlı buhar ve elektrik enerjisinin üretimi için kullanılan kojenerasyon enerji üretimi yapan santral tasarlanmış ve rafinerinin değişen taleplerine en ekonomik şekilde cevap verebilmek için bu enerji santralinin nasıl optimize edilmesi gerektiği belirlenmiştir. Optimizasyon çalışması için üç farklı senaryo seçilmiş ve güncel enerji fiyatları kullanılarak bu senaryolara göre enerji santralinin çalışma şekli optimize edilmiştir. Bu senaryolar:

- Normal enerji talepleri
- Yüksek elektrik enerjisi tüketimi
- Yüksek buhar talebi

Olarak tanımlanmıştır.

2.0 TESİSTE KULLANILAN ENERJİ SANTRALİNİN KISA TANITIMI

Enerji santrali değişik ekipman gruplarından oluşmaktadır. Bunlar:

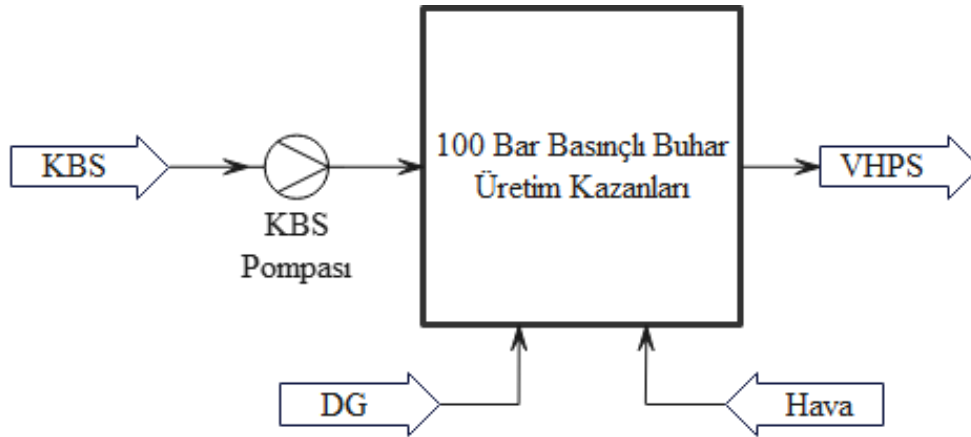
- 100 bar-g basınçta buhar üreten kazanları
- 40 bar-g karşı basınçlı buhar türbini
- 10 bar-g karşı basınçlı buhar türbini

- Kondanserli buhar türbini
- Gaz türbini
- Isı geri kazanım buhar jeneratörü ve kondanserli buhar türbini sistemi
- Soğutma kulesi sistemi

2.1. 100 Bar-g Basınçlı Buhar Üretim Kazanları

Çok yüksek basınçlı buhar üretim kazan sisteminin blok proses akım şeması Şekil-1’de verilmiştir. Bu sistemin tasarımında varsayılan esaslar aşağıda belirtilmiştir.

- Sisteme basılan kazan besleme suyu, bir gaz giderme dramından (degazör) alınmaktadır. Bu dramda kazan besleme suyu 1 atm basınçta doymuş su olarak bulunmaktadır.
- Buhar kazanında 10 bar-g basınç düşümü oluşmaktadır. Bu nedenle 100 bar-g basınçta buhar üretmek için kazan besleme pompasının çıkış basıncı 110 bar-g’dir.
- Buhar kazanlarının ısı verimlerinin %90 olduğu, yakıt olarak doğal gaz kullanıldığı, fazla hava miktarının %15 olacağı ve bu değerlerin her kapasitede sabit kalacağı varsayılmıştır.
- Buhar kazanlarından çıkan buhar, 100 bar-g basınçta ve 400 C sıcaklıktadır.



Şekil-1: 100 Bar-g basınçlı buhar üretim kazan sisteminin blok akım şeması (KBS: Kazan besleme suyu, DG: Doğal gaz, VHPS: 100 bar-g basınçlı kızgın buhar)

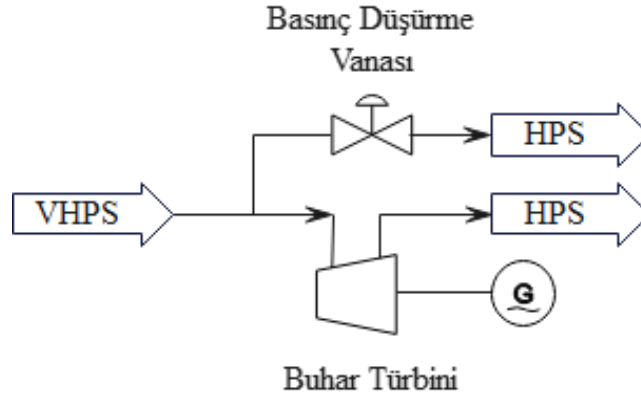
2.2. 40 Bar-g Karşı Basınçlı Buhar Türbini

Çok yüksek basınçlı buhar kazanlarında üretilen buhar, öncelikle elektrik enerjisi üretmek üzere 40 bar-g karşı basınçlı buhar türbinlerine gönderilir. Buhar türbininin tasarım esasları aşağıda verilmiştir.

- Buhar türbininin maksimum elektrik üretim kapasitesi 10 MW’tır. Türbinin devrede olduğu zaman üreteceği minimum güç 5 MW’tır.
- Türbinden çıkan buhar 40 bar-g basınçlı buhar sistemine verilecektir.

- Türbinin isoentropic veriminin %90 olacağı ve çalışabildiği aralıklarda bu verimin sabit olacağı varsayılmıştır.
- 100 bar-g basınçlı buhar sisteminden 40 bar-g basınçlı buhar sistemine gerektiğinde buhar gönderebilmek amacıyla bir basınç düşürme istasyonu öngörülmüştür. Bu sistemin maksimum kapasite 10 ton/saattir. Sistemin sürekli devrede tutulması ve acil durumda kullanıma hazır olması için sistemden minimum 1 ton/saat buhar geçirilmesi öngörülmüştür.

40 bar-g karşı basınçlı buhar türbini sisteminin blok akım şeması Şekil-2’de verilmiştir.



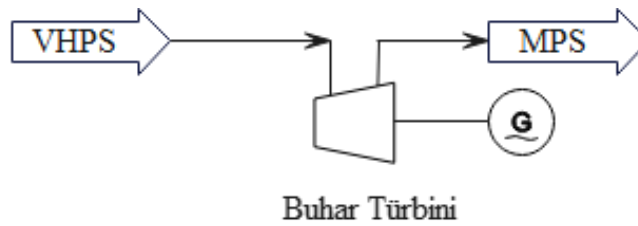
Şekil-2: 40 bar-g karşı basınçlı buhar türbini blok akım şeması (VHPS: 100 bar-g basınçlı kızgın buhar, HPS: 40 bar-g basınçlı kızgın buhar, G: Elektrik jeneratörü)

2.3. 10 Bar-g Karşı Basınçlı Buhar Türbini

Çok yüksek basınçlı buhar kazanlarında üretilen buhar, ikinci olarak elektrik enerjisi üretmek üzere 10 bar-g karşı basınçlı buhar türbinine gönderilir. Buhar türbininin tasarım esasları aşağıda verilmiştir.

- Buhar türbininin maksimum elektrik üretim kapasitesi 10 MW’tır. Türbinin devrede olduğu zaman üreteceği minimum güç 5 MW’tır.
- Türbinden çıkan buhar 10 bar-g basınçlı buhar sistemine verilecektir.
- Türbinin isoentropic veriminin %90 olacağı ve çalışabildiği aralıklarda bu verimin sabit olacağı varsayılmıştır.

10 bar-g karşı basınçlı buhar türbini sisteminin blok akım şeması Şekil-3’de verilmiştir.



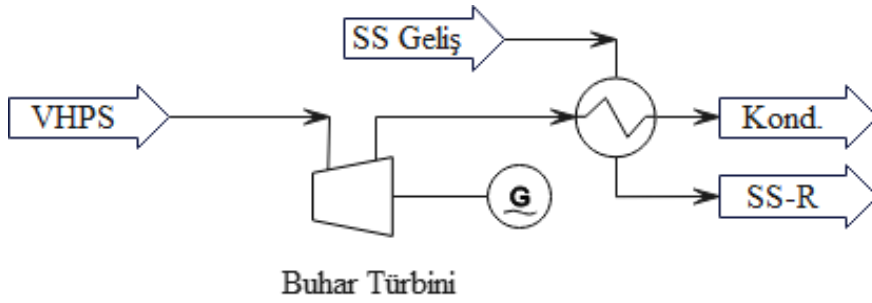
Şekil-3: 10 bar-g karşı basınçlı buhar türbini blok akım şeması (VHPS: 100 bar-g basınçlı kızgın buhar, MPS: 10 bar-g basınçlı kızgın buhar, G: Elektrik jeneratörü)

2.4. Kondanserli Buhar Türbini

Çok yüksek basınçlı buhar kazanlarında üretilen buhar, üçüncü olarak elektrik enerjisi üretmek üzere kondanserli buhar türbinine gönderilir. Buhar türbininin tasarım esasları aşağıda verilmiştir.

- Buhar türbininin maksimum elektrik üretim kapasitesi 10 MW'tır. Türbinin devrede olduğu zaman üreteceği minimum güç 5 MW'tır.
- Türbinden çıkan buhar vakum altında çalışan bir yoğuşturucu ısı değiştiricisine gönderilir. Kondanser -0.9 bar-g vakum altında çalışacak şekilde ve türbinden çıkan doymuş buhar ve su karışımını tamamen yoğunlaştırmak üzere tasarlanmıştır.
- Türbinin isoentropic veriminin %90 olacağı ve çalışabildiği aralıklarda bu verimin sabit olacağı varsayılmıştır.
- Yoğunlaştırıcının ısı transfer katsayısının tasarlanan çalışma aralığında sabit kaldığı varsayılmıştır. Yoğunlaştırıcıdan çıkan su, tesiste tekrar şartlandırıldıktan sonra kazan besleme suyu olarak kullanılmak üzere geri döndürülmektedir.
- Yoğunlaştırıcıda kullanılan soğutma suyu soğutma kulesinden temin edilmektedir.

Kondanserli buhar türbini sisteminin blok akım şeması Şekil-4'de verilmiştir.



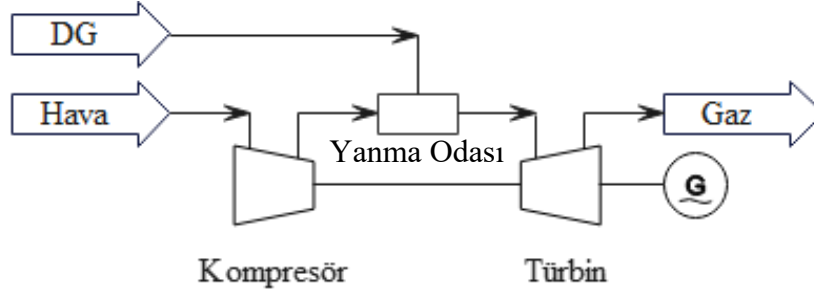
Şekil-4: Kondanserli buhar türbini blok akım şeması (VHPS: 100 bar-g basınçlı kızgın buhar, SS: Soğutma suyu, SS-R: Soğutma suyu dönüşü, Kond: Kondanse, G: Elektrik jeneratörü)

2.5. Gaz Türbini

Enerji santralinde elektrik üretimi dördüncü olarak gaz türbini ile yapılmaktadır. Türbinde yakıt olarak doğal gaz kullanılmaktadır. Atmosferik hava kompresör yardımıyla sıkıştırılır ve gaz türbininin yanma odasına gönderilerek doğal gaz yanma odasına akım kontrolünde özel tasarlanmış yakıcı sistemiyle yanma bölgesine homojen olarak dağıtılır ve havayla buluşur. Yanma reaksiyonu sonucu açığa çıkan sıcak gaz türbinden geçerek enerji üretir. Üretilen enerji hem kompresör için gerekli enerjiyi sağlar hem de bir elektrik jeneratörünü çalıştırarak elektrik üretir. Gaz türbininin tasarım esasları aşağıda verilmiştir.

- Gaz türbinin maksimum elektrik üretim kapasitesi, ısı geri kazanımı buhar üretim jeneratör sistemi ve buhar türbinisiyle birlikte 40 MW'tır. Bu üretim sisteminin devrede olduğu zaman üreteceği minimum güç 10 MW'tır.
- Hava kompresörünün çıkış basıncı 10 bar-g olarak tasarlanmıştır.
- Türbinden çıkan gazların basıncı, ısı geri kazanım buhar jeneratöründe oluşacak basınç düşümüne bağlı olarak atmosferik basıncın biraz üzerinde olacak şekilde tasarlanmıştır.

Gaz türbini sisteminin blok akım şeması Şekil-5'de verilmiştir.



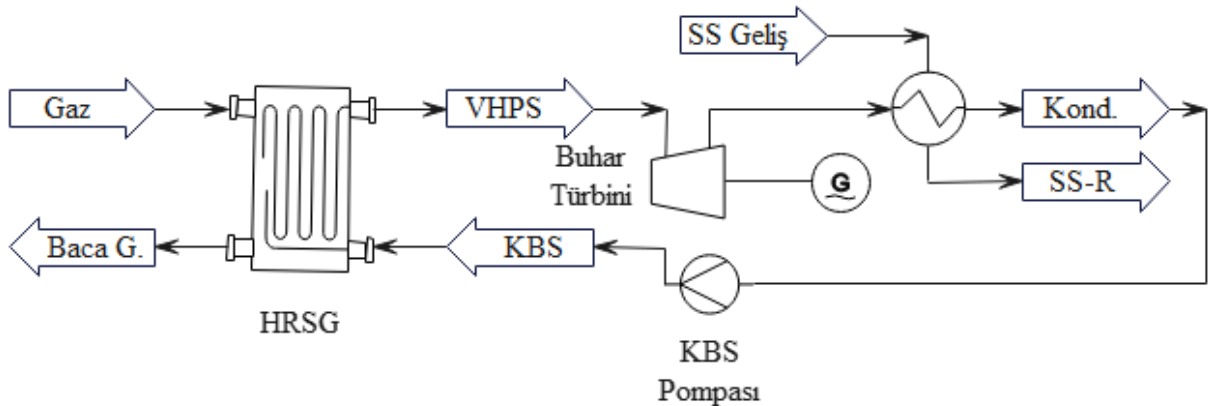
Şekil-5: Gaz türbini blok akım şeması (DG: Doğal gaz, G: Elektrik jeneratörü)

2.6. Isı Geri Kazanım Buhar Jeneratörü ve Buhar Türbini

Enerji santralinde beşinci elektrik üretim yöntemi ısı geri kazanım buhar jeneratörü ve buhar türbini sistemidir. Gaz Türbininden çıkan sıcak gazlar ısı geri kazanım buhar jeneratörüne girer. Bu sistemde kazan besleme suyu sirküle ettirilir. Gaz türbininden çıkan sıcak gazların ısıyla yüksek basınçlı buhar üretilir. Yüksek basınçlı buhar, kondanseri bir buhar türbininden geçirilerek elektrik enerjisi üretilir. Buhar türbininden çıkan yaş buhar bir ısı değiştiricisinden geçirilerek tamamen yoğuşturulur, bir pompa yardımıyla tekrar ısı geri kazanım fırınına gönderilir. Isı geri kazanım sisteminin tasarım esasları aşağıda verilmiştir.

- Isı geri kazanım sisteminin maksimum elektrik üretim kapasitesi, gaz türbiniyle birlikte 40 MW'tır. Bu üretim sisteminin devrede olduğu zaman üreteceği minimum güç 10 MW'tır.
- Isı geri kazanım kazanından çıkan buhar 400 C sıcaklık ve 100 bar-g basınçtır.
- Üretilen buharın bir kısmı 40 bar-g basınçlı buhar sistemine gerektiğinde buhar gönderebilmek amacıyla bir basınç düşürme istasyonu öngörülmüştür. Bu sistemin maksimum kapasite 10 ton/saattir. Sistemin sürekli devrede tutulması ve acil durumda kullanıma hazır olması için sistemden minimum 1 ton/saat buhar geçirilmesi öngörülmüştür.

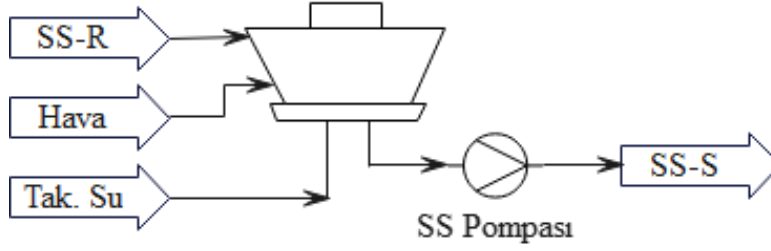
Isı Geri Kazanım Buhar Jeneratörü ve Buhar Türbini sisteminin blok akım şeması Şekil-6'de verilmiştir.



Şekil-6: Isı geri kazanım buhar jeneratörü ve buhar türbini blok akım şeması (VHPS: 100 bar-g basınçlı kızgın buhar, KBS: Kazan besleme suyu, SS: Soğutma suyu, SS-R: Soğutma suyu dönüş, Kond.: Kondanse, Baca G.: Baca gazı, G: Elektrik jeneratörü, HRSG: Isı geri kazanım buhar jeneratörü)

2.7. Soğutma Kulesi Sistemi

Soğutma kulesi sistemi, kondanserli buhar türbinlerinden çıkan yaş buharı tamamen yoğuşturmak için gerekli olan suyu soğutmak için enerji santraline dahil edilmiştir. Türbin kondanselerinde ısınan su soğutma kulesinin üst kısmından kuleye dağıtılır. Kulenin içinden yukarı doğru atmosferik hava akımı fanlar yardımıyla sağlanır. Kuleye giren sıcak su, hava akımıyla karşılaşınca bir miktar su buharlaşarak suyun soğumasına neden olur. Soğutma kulesi sisteminin blok akım şeması Şekil-7’de verilmiştir.



Şekil-7: Soğutma kulesi sistemi blok akım şeması (SS-R: Soğutma suyu dönüş, SS-S: Soğutma suyu geliş, Tak. Su: Takviye su, SS: Soğutma suyu)

2.8 Ulusal Elektrik Dağıtım Sisteminden Elektrik Alınması

Son olarak Rafinerinin ulusal elektrik dağıtım sisteminden elektrik enerjisi alabilme imkanı da optimizasyon modeline dahil edilmiştir. Ulusal sistemden elektrik ithal edilen enerjinin miktarı 10 MW güç ile sınırlandırılmıştır.

3.0 MODELİN OLUŞTURULMASI VE OPTİMİZASYON

Yukarıda bölümleri anlatılan enerji santrali Hysys V.12.1 proses modelleme programı kullanılarak modellenmiştir. Optimizasyon yöntemi ve matematiksel model Gürün ve Bozdağ tarafından rafinerilerde kullanılan ham petrol damıtma üniteleri için detaylı bir şekilde anlatılmıştır [9]. Aynı matematiksel yaklaşım ve optimizasyon yöntemi enerji santrallerine de uygulanmıştır.

Enerji santralinin optimizasyonu için üç ayrı senaryo modellenmiştir. Bu senaryolar bir rafinerinin değişik çalışma koşullarında oluşacak enerji taleplerine yönelik senaryolardır. Bu senaryolar (1) Normal enerji talepleri, (2) Yüksek elektrik enerjisi tüketimi, (3) Yüksek buhar talebi olarak tanımlanmıştır.

Her üç senaryoda yukarıda tanımlanan enerji santralinin optimizasyonu belirlenen sınırlar içinde yapılmıştır. Bu optimizasyon çalışmasında bağımsız olarak kontrol edilebilen parametreler ve çalışma sınırları Tablo-1’de verilmektedir. Tablo-1’de verilen sınırlar sistemi oluşturan ekipman gruplarının tasarım değerleriyle ilgili olduğu için incelenen üç senaryonun hepsinde kullanılan sınır değerleri aynı kalmıştır.

Tablo-1: Modelde Kullanılan Bağımsız Değişkenler



		Minimum	Maksimum
HP Buhar Turbini (KT-1) Elektrik Üretimi	kW	5,000	10,000
MP Buhar Turbini (KT-2) Elektrik Üretimi	kW	5,000	10,000
Yoğuşmalı Turbin (KT-3) Elektrik Üretimi	kW	5,000	10,000
Buhar Kazanından HP Buhar Çekilmesi	kg/saat	1,000	10,000
Gaz Türbinine Doğal Gaz Akımı	Nm ³ /saat	3,000	7,500
Gaz Türbini Sisteminden HP Buhar Çekilmesi	kg/saat	1,000	10,000
Ulusal Grid Sisteminden Elektrik Alınması	kW		10,000

Tablo-2’de, enerji santralinde bağımsız olarak kontrol edilebilen değişkenlerin değerlerine göre belirlenen bağımlı değişkenlerin listesi ve bunların sınır değerleri verilmektedir. Bu tabloda listelenen kalemlerin bazıları yine ekipman gruplarının tasarım değerleriyle ilgili sınırlar olduğu için üç senaryoda da aynı değerler kullanılmıştır. İncelenen senaryolarda değişen parametreler rafinerinin elektrik enerjisi ve 40 bar-g buhar tüketim talepleri olmuştur.

Geliştirilen Hysys modelinin görselleri Şekil-8A, 8B, 8C, ve 8D’de verilmektedir.

3.1 Hedef Fonksiyonunun Tanımlanması

Bu çalışmada hedef fonksiyonu, rafinerinin ihtiyacı olan enerjinin en ekonomik şekilde sağlanması olarak tanımlanmıştır. Enerji maliyetleri hesaplanırken güncel doğal gaz ve elektrik fiyatları ile güncel serbest piyasa dolar kuru kullanılmıştır. Bunlar:

- Serbest piyasa dolar kuru 28.20 TL/\$
- Botaş doğal gaz satış fiyatı 1.1278 TL/kWhr
- EPDK Elektrik Satış Fiyatı 3.3637 TL/kWhr
- 40 Bar-g buhar üretim maliyeti 34.57 \$/Ton

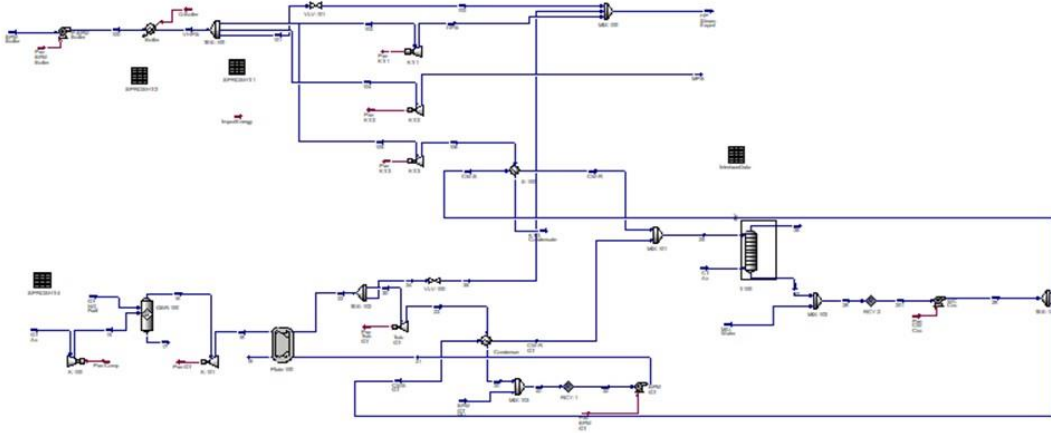
Bu fiyatlar kullanılarak 40 Bar-g buhar üretim maliyeti hesaplanmış ve \$34.57/ton olarak bulunmuştur. Burada yapılan yaklaşım, eğer bir enerji santrali olmasaydı, rafineri elektrik enerjisini grid sisteminden belirtilen fiyata alacak ve buharı hesaplanan maliyette üretecekti. Enerji santralini optimum olarak çalıştırması durumunda enerji ihtiyacını sağlarken bir tasarruf yapılacaktır. Hedef fonksiyonu bu tasarruf miktarını maksimum yapmak üzerine kurulmuştur.

Hedef fonksiyonu şu şekilde hesaplanmıştır.

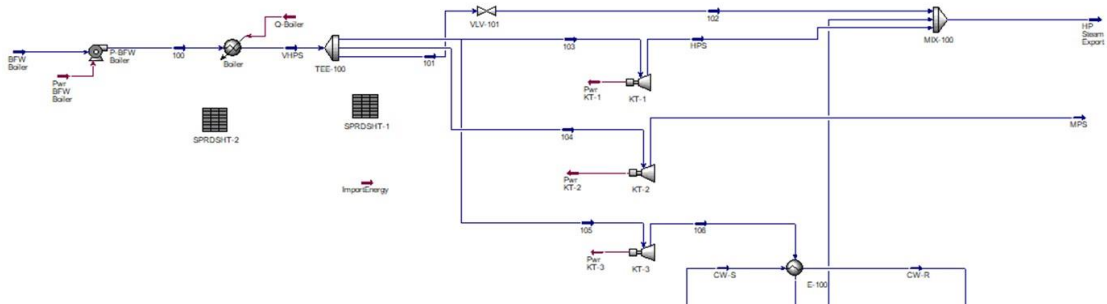
Hedef fonksiyonu = Rafinerinin ihtiyacı olan buharın ve elektriğin bedeli – bu enerjiyi üretmek için harcanan doğal gazın maliyeti – Sistemde kullanılan pompaların tükettiği elektriğin maliyeti.

Tablo-2: Modelde Kullanılan Bağımlı Değişkenlerin Senaryolara Göre Değişimi

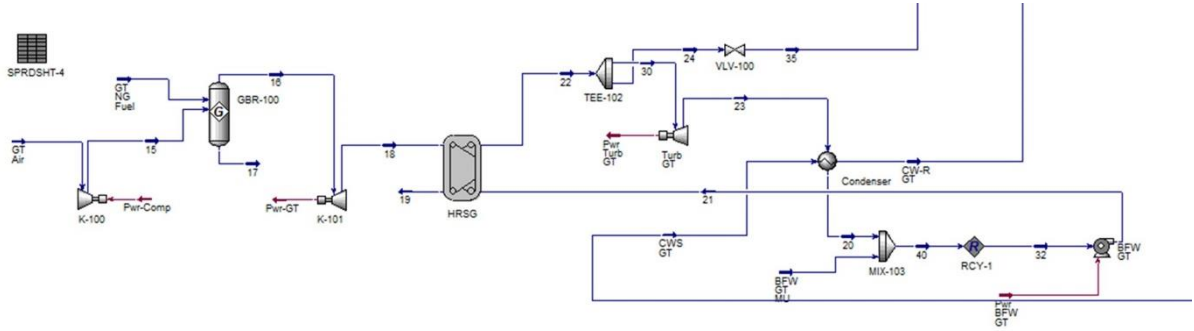
		Normal Rafineri Şartları		Maksimum Elektrik Enerjisi Talebi		Maksimum 40 Bar Buhar Talebi	
		Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum
Toplam Elektrik Gücü Talebi	kW	40,000	50,000	40,000	60,000	40,000	50,000
40 Bar Buhar Türbini HP Buhar Üretimi	kg/saat	50,000	190,000	50,000	190,000	50,000	190,000
10 Bar Buhar Türbini MP Buhar Üretimi	kg/saat	30,000	85,000	30,000	85,000	30,000	85,000
100 Bar Buhar Üretim Kazanına KBS Akımı	m ³ /saat	100	320	100	320	100	320
100 Bar Buhar Üretim Kazanında DG Tüketimi	Nm ³ /saat		25,000		25,000		25,000
KBS Pompasının Elektrik Tüketimi	kW		1,500		1,500		1,500
Rafinerinin 40 Bar Buhar Talebi	kg/saat	70,000	100,000	70,000	100,000	70,000	130,000
Rafinerinin 10 Bar Buhar Talebi	kg/saat	30,000	80,000	30,000	80,000	30,000	80,000
Yoğuşmalı Türbinden Çıkan Kondanse Akımı	kg/saat		40,000		40,000		40,000
Gaz Türbininin Elektrik Enerjisi Üretimi	kW	10,000	40,000	10,000	40,000	10,000	40,000
Gaz Türbinine KBS Takviye Akımı	kg/saat		20,000		20,000		20,000
Gaz Türbini KBS Sirkülasyon Miktarı	m ³ /saat	30	80	30	80	30	80
Gas Turbini KBS Pompası Elektrik Tüketimi	kW		350		350		350
Soğutma Suyu Pompasının Bastığı Su Miktarı	m ³ /saat	2,000	4,000	2,000	4,000	2,000	4,000
Soğutma Suyu Pompasının Elektrik Tüketimi	kW		700		700		700
Takviye Soğutma Suyu Akımı	m ³ /saat		100		100		100



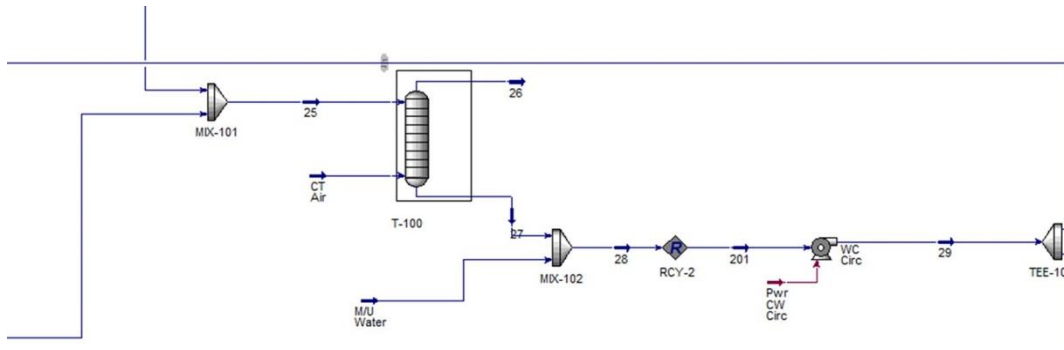
Şekil-8A: Enerji santralının Hysys Modeli – Tüm Sistem



Şekil-8B: Enerji santralının Hysys Modeli – 100 Bar-g Kazanı ve Buhar Türbinleri



Şekil-8C: Enerji santralinin Hysys Modeli – Gaz Türbini Olan Kısım



Şekil-8D: Enerji santralinin Hysys Modeli – Soğutma Kulesi Kısım

4.0 OPTİMİZASYON SONUÇLARI

Yukarıda da belirtilen senaryolara göre rafinerinin enerji ihtiyaçlarının optimum şekilde karşılanması sonucu hesaplanan çalışma koşulları aşağıda özetlenmiştir.

4.1 Normal Enerji Talepleri

Rafinerinin normal çalışma koşullarında ihtiyaç duyduğu gücün 50 MW elektrik, maksimum 100 ton/saat debide, 40 bar-g buhar ve maksimum 80 ton/saat debide 10 bar-g buhar olması durumunda gerçekleşen çalışma koşulları Tablo-3’de verilmektedir.

Tablodaki sonuçlar incelendiğinde şu sonuçlar gözlenmektedir:

- Enerji santrali rafinerinin elektrik ve 40 bar-g buhar ihtiyaçlarının tamamını karşılamıştır.
- 10 buhar ihtiyacı minimum değerinin üzerinde karşılanmıştır. Karşılanan miktar maksimum bar-g değerinin altındadır.
- Elektrik ihtiyacı karşılanırken kondanserli türbin minimum üretim kapasitesinde çalıştırılmış ve gridden enerji hiç alınmamıştır.
- Rafinerinin buhar ihtiyacını karşılayacak türbinler gerektiği kadar çalıştırdıktan sonra elektrik ihtiyacının en büyük kısmı gaz türbininden karşılanmıştır.



- Rafineriye, 100 bar-g buhar kazanlarından ve gaz türbini ısı geri kazanım fırınından minimum miktarda buhar takviyesi yapılmış, buhar ihtiyacı buharlı türbinlerden karşılanmıştır. Bu akımlar ilgili hatları acil durumda kullanabilmek için canlı tutacak minimum miktarlardır.
- Enerji santralinde kullanılan hiçbir ekipman tasarım değerlerinin dışında çalıştırılmamıştır.
- Optimum koşullara gelindiğinde, iterasyona başlanan çalışma koşullarıyla karşılaştırıldığında, yıllık \$2.88 Milyon tasarruf edildiği hesaplanmıştır. Bu değer iterasyona başlanan koşullara göre değişecektir. Yapılacak enerji tasarrufunun miktarı konusunda bir fikir vermesi için bu değer burada hesaplanmıştır.

4.2 Yüksek Elektrik Enerjisi Talepleri

Bu senaryoda rafinerinin ihtiyaç duyduğu elektrik gücünün 60 MW olması durumu incelenmiştir. Bu senaryoda 40 bar-g buhar ve 10 bar-g buhar ihtiyaçlarının aynı kaldığı varsayılmıştır. Bu senaryoya göre belirlenen optimum çalışma koşulları Tablo-4'de verilmektedir.

Tablodaki sonuçlar incelendiğinde şu sonuçlar gözlenmektedir:

- Enerji santrali rafinerinin elektrik, 40 bar-g ve 10 buhar ihtiyaçlarının tamamını karşılamıştır.
- Elektrik ihtiyacı karşılanırken kondanserli türbin minimum üretim kapasitesinde çalıştırılmış ve gridden çok düşük miktarda enerji alınmıştır.
- Rafinerinin buhar ihtiyacını karşılayacak türbinler gerektiği kadar çalıştırdıktan sonra gaz türbini maksimum kapasitede çalıştırılmıştır.
- Rafineriye, 100 bar-g basınçlı buhar üreten kazanlarından ve gaz türbini ısı geri kazanım fırınından minimum miktarda buhar takviyesi yapılmıştır.
- Enerji santralinde kullanılan hiçbir ekipman tasarım değerlerinin dışında çalıştırılmamıştır.
- Optimum koşullara gelindiğinde, iterasyona başlanan çalışma koşullarıyla karşılaştırıldığında, yıllık \$4.53 Milyon tasarruf edildiği hesaplanmıştır.

4.3 Yüksek HP Buhar Talebi

Bu senaryoda rafinerinin ihtiyaç duyduğu gücün 50 MW olması fakat 40 bar-g buhar ihtiyacının 130 ton/saat değerine çıkması durumu incelenmiştir. Bu senaryoda 10 bar-g buhar ihtiyacının aynı kaldığı varsayılmıştır. Bu senaryoya göre belirlenen optimum çalışma koşulları Tablo-5'de verilmektedir.

Tablodaki sonuçlar incelendiğinde şu sonuçlar gözlenmektedir:

- Enerji santrali rafinerinin elektrik, 40 bar-g ihtiyaçlarının tamamını karşılamıştır.
- 10 bar-g buhar ihtiyacı minimum değerinin üzerinde karşılanmıştır. Karşılanan miktar maksimum değerinin altındadır.
- Elektrik ihtiyacı karşılanırken kondanserli türbin minimum üretim kapasitesinde çalıştırılmış ve gridden çok düşük miktarda enerji alınmıştır.
- Rafinerinin buhar ihtiyacını karşılayacak türbinler gerektiği kadar çalıştırdıktan sonra gaz türbini maksimum kapasitede çalıştırılmıştır.
- Rafineriye, 100 bar-g buhar kazanlarından ve gaz türbini ısı geri kazanım fırınından minimum miktarda buhar takviyesi yapılmıştır.

- Enerji santralinde kullanılan hiçbir ekipman tasarım değerlerinin dışında çalıştırılmamıştır.
- Optimum koşullara gelindiğinde, iterasyona başlanan çalışma koşullarıyla karşılaştırıldığında, yıllık \$2.97 Milyon tasarruf edildiği hesaplanmıştır.

Tablo-3: Rafinerinin Normal Çalışma Koşullarındaki Enerji Taleplerinin Karşılanması

		Minimum	Maksimum	Iterasyona Başlangıç Şartları	Optimizasyon Sonucu
Toplam Elektrik Gücü Talebi	kW	40,000	50,000	47,885	49,999
40 Bar Buhar Türbini HP Buhar Üretimi	kg/saat	50,000	190,000	94,574	95,243
10 Bar Buhar Türbini MP Buhar Üretimi	kg/saat	30,000	85,000	42,737	60,841
100 Bar Buhar Üretim Kazanma KBS Akımı	m3/saat	100	320	157	175
100 Bar Buhar Üretim Kazanında DG Tüketimi	Nm3/saat		25,000	12,315	13,795
KBS Pompasının Elektrik Tüketimi	kW		1,500	629	705
Rafinerinin 40 Bar Buhar Talebi	kg/saat	70,000	100,000	96,813	99,998
Rafinerinin 10 Bar Buhar Talebi	kg/saat	30,000	80,000	42,737	60,841
Yoğuşmalı Türbinden Çıkan Kondanse Akımı	kg/saat		40,000	17,875	17,875
Gaz Türbininin Elektrik Enerjisi Üretimi	kW	10,000	40,000	31,961	32,845
Gaz Türbinine KBS Takviye Akımı	kg/saat		20,000	1,239	3,755
Gaz Türbini KBS Sirkülasyon Miktarı	m3/saat	30	80	63	57
Gas Turbini KBS Pompası Elektrik Tüketimi	kW		350	242	216
Soğutma Suyu Pompasının Bastığı Su Miktarı	m3/saat	2,000	4,000	2,048	3,160
Soğutma Suyu Pompasının Elektrik Tüketimi	kW		700	352	543
Takviye Soğutma Suyu Akımı	m3/saat		100	72	50
HP Buhar Turbini (KT-1) Elektrik Üretimi	kW	5,000	10,000	5,000	5,035
MP Buhar Turbini (KT-2) Elektrik Üretimi	kW	5,000	10,000	5,000	7,118
Yoğuşmalı Turbin (KT-3) Elektrik Üretimi	kW	5,000	10,000	5,000	5,000
Buhar Kazanından HP Buhar Çekilmesi	kg/saat	1,000	10,000	1,000	1,000
Gaz Türbinine Doğal Gaz Akımı	Nm3/saat	3,000	7,500	6,021	6,243
Gaz Türbini Sisteminden HP Buhar Çekilmesi	kg/saat	1,000	10,000	1,239	3,755
Ulusal Grid Sisteminden Elektrik Alınması	kW		10,000	925	1
Hedef Fonksiyonunun Değeri	\$/saat			1,618	1,946
Yıllık Getiri	MM \$/Yıl				2.88



Tablo-4: Rafinerinin Yüksek Elektrik Enerjisi Tüketmesi Durumundaki Optimum Çalışma Koşulları

		Minimum	Maksimum	İterasyona Başlangıç Şartları	Optimizasyon Sonucu
Toplam Elektrik Gücü Talebi	kW	40,000	60,000	49,999	59,327
40 Bar Buhar Türbini HP Buhar Üretimi	kg/saat	50,000	190,000	95,243	95,793
10 Bar Buhar Türbini MP Buhar Üretimi	kg/saat	30,000	85,000	60,845	79,620
100 Bar Buhar Üretim Kazanına KBS Akımı	m ³ /saat	100	320	175	195
100 Bar Buhar Üretim Kazanında DG Tüketimi	Nm ³ /saat		25,000	13,795	15,319
KBS Pompasının Elektrik Tüketimi	kW		1,500	705	783
Rafinerinin 40 Bar Buhar Talebi	kg/saat	70,000	100,000	99,999	99,742
Rafinerinin 10 Bar Buhar Talebi	kg/saat	30,000	80,000	60,845	79,620
Yoğuşmalı Türbinden Çıkan Kondanse Akımı	kg/saat		40,000	17,875	17,875
Gaz Türbininin Elektrik Enerjisi Üretimi	kW	10,000	40,000	32,845	39,891
Gaz Türbinine KBS Takviye Akımı	kg/saat		20,000	3,756	2,950
Gaz Türbini KBS Sirkülasyon Miktarı	m ³ /saat	30	80	57	57
Gas Turbini KBS Pompası Elektrik Tüketimi	kW		350	216	217
Soğutma Suyu Pompasının Bastığı Su Miktarı	m ³ /saat	2,000	4,000	3,160	3,160
Soğutma Suyu Pompasının Elektrik Tüketimi	kW		700	543	544
Takviye Soğutma Suyu Akımı	m ³ /saat		100	50	53
HP Buhar Turbini (KT-1) Elektrik Üretimi	kW	5,000	10,000	5,035	5,064
MP Buhar Turbini (KT-2) Elektrik Üretimi	kW	5,000	10,000	7,119	9,315
Yoğuşmalı Turbin (KT-3) Elektrik Üretimi	kW	5,000	10,000	5,000	5,000
Buhar Kazanından HP Buhar Çekilmesi	kg/saat	1,000	10,000	1,000	1,000
Gaz Türbinine Doğal Gaz Akımı	Nm ³ /saat	3,000	7,500	6,243	7,346
Gaz Türbini Sisteminden HP Buhar Çekilmesi	kg/saat	1,000	10,000	3,756	2,950
Ulusal Grid Sisteminden Elektrik Alınması	kW		10,000	0	56
Hedef Fonksiyonunun Değeri	\$/saat			1,946	2,464
Yıllık Getiri	MM \$/Yıl				4.53

Tablo-5: Rafinerinin Yüksek HP Buhar Tüketmesi Durumundaki Optimum Çalışma Koşulları

		Minimum	Maksimum	Iterasyona Başlangıç Şartları	Optimizasyon Sonucu
Toplam Elektrik Gücü Talebi	kW	40,000	50,000	48,092	50,000
40 Bar Buhar Türbini HP Buhar Üretimi	kg/saat	50,000	190,000	94,574	127,518
10 Bar Buhar Türbini MP Buhar Üretimi	kg/saat	30,000	85,000	42,737	66,440
100 Bar Buhar Üretim Kazanına KBS Akımı	m ³ /saat	100	320	157	213
100 Bar Buhar Üretim Kazanında DG Tüketimi	Nm ³ /saat		25,000	12,315	16,781
KBS Pompasının Elektrik Tüketimi	kW		1,500	629	858
Rafinerinin 40 Bar Buhar Talebi	kg/saat	70,000	130,000	96,813	129,978
Rafinerinin 10 Bar Buhar Talebi	kg/saat	30,000	80,000	42,737	66,440
Yoğuşmalı Türbinden Çıkan Kondanse Akımı	kg/saat		40,000	17,875	17,875
Gaz Türbininin Elektrik Enerjisi Üretimi	kW	10,000	40,000	32,167	30,473
Gaz Türbinine KBS Takviye Akımı	kg/saat		20,000	1,239	1,460
Gaz Türbini KBS Sirkülasyon Miktarı	m ³ /saat	30	80	57	57
Gas Turbini KBS Pompası Elektrik Tüketimi	kW		350	216	216
Soğutma Suyu Pompasının Bastığı Su Miktarı	m ³ /saat	2,000	4,000	3,160	3,160
Soğutma Suyu Pompasının Elektrik Tüketimi	kW		700	543	543
Takviye Soğutma Suyu Akımı	m ³ /saat		100	50	49
HP Buhar Turbini (KT-1) Elektrik Üretimi	kW	5,000	10,000	5,000	6,742
MP Buhar Turbini (KT-2) Elektrik Üretimi	kW	5,000	10,000	5,000	7,773
Yoğuşmalı Turbin (KT-3) Elektrik Üretimi	kW	5,000	10,000	5,000	5,000
Buhar Kazanından HP Buhar Çekilmesi	kg/saat	1,000	10,000	1,000	1,000
Gaz Türbinine Doğal Gaz Akımı	Nm ³ /saat	3,000	7,500	6,021	5,752
Gaz Türbini Sisteminden HP Buhar Çekilmesi	kg/saat	1,000	10,000	1,239	1,460
Ulusal Grid Sisteminden Elektrik Alınması	kW		10,000	925	12
Hedef Fonksiyonunun Değeri	\$/saat			1,666	2,005
Yıllık Getiri	MM \$/Yıl				2.97

SONUÇ:

Bu çalışmada, ham petrolden akaryakıt üreten bir rafinerinin ihtiyacı olan elektrik enerjisini, 40 bar-g ve 10 bar-g buharını üreten bir enerji santralının çalışma koşullarını optimize etmek için bir yöntem geliştirilmiş ve



üç farklı senaryo için enerji santraline uygulanmıştır. Yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda, rafinerinin enerji ihtiyaçları karşılanırken önemli miktarda tasarruf sağlanabileceği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın sonucunda aşağıda belirlenen çalışmaların ve incelemelerin yapılabileceği gözlemlenmiştir.

100 bar-g buhar kazanı modelde en basit şekliyle modellenmiştir. Bu model içinde 100 bar-g buhar üretim kazanlarının tasarımı yapılarak modelin daha da geliştirilebileceği değerlendirilmiştir.

Güncel piyasa koşulları dikkate alınarak farklı senaryolar incelenebilir. Örneğin incelenen tüm senaryolarda kondanseri buhar türbininin hep minimum kapasitede çalıştığı gözlemlenmiştir. Bunu yerine alternatif türbin tasarımlarının yatırım değerlendirmeleri yapılabilir. Bu anlamda enerji santrallerinin tasarımları yapılırken alternatif santral konfigürasyonlarının değerlendirilmesi yapılabilir.

Güncel doğal gaz ve elektrik fiyatlarının değişmesi durumunda optimizasyon koşullarındaki değişimler incelenebilir.

Sonuç olarak bu çalışmada bir rafinerinin ihtiyacını karşılayan bir enerji santralinin değişik senaryolarda çalıştırılması durumları incelenmiştir. Burada özetlenen yöntem mevcut bir rafinerinin içinde çalışan enerji santralinin modeli kurularak günlük olarak optimizasyon yapılabilir.

REFERANSLAR

1. Reid, R. C., J. M. Prausnitz, B. E. Poling: Properties of Gases and Liquids, 4th ed., Mc-Graw Hill, Newyork, 1987
2. Smith, J. M., H. C. Van Ness; Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 3rd ed., Mc-Graw Hill, 1975
3. Sandler, S. I.: Chemical and Engineering Thermodynamics, 3rd ed., John Willey & Sons, Inc., 1999
4. Reid, R. C.: Thermodynamics and Its Applications, 2nd ed., Prentice Hall, Inc., 1983
5. Bozdağ, O.: Kimya Mühendisliği Termodinamiği Ders Notları, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Mart 2016.
6. Peters, M. S., K. D. Timmerhaus: Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 3rd ed., Mc-Graw Hill, 1980.
7. Gürün Z., O. Bozdağ, Enerji Santrallerinin Modellemesi ve Optimizasyonu, IV. Enerji Verimliliği Kongresi, 13-14 Ekim 2017, Kocaeli, sayfa 253.
8. Karaali R., İ. T. Öztürk, Kojenerasyon Çevrimlerinin Termodinamik Optimizasyonu, IV. Enerji Verimliliği Kongresi, 13-14 Ekim 2017, Kocaeli, sayfa 263.
9. Gürün Z., O. Bozdağ: Development of a New Method to Optimize Operations of an Existing Crude Unit, Kocaeli Journal of Science and Engineering, date of acceptance October 23, 2023
10. Gürün Z., O. Bozdağ: A case study on modeling and optimization of power plants, Paper presented at Petrochemical and Refining Conference Europe, April 9-10, 2018, Moscow, Russia.



ENDÜSTRİYEL KAZANLARDA FGR REVİZYONU FGR Revision in Industrial Boilers

İrem Noyan¹, Bengü Yılmaz²

1 Enerji Üretim Mühendisi, TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi (Irem.Noyan@tupras.com.tr)

2 Enerji Üretim Uzman Mühendisi, TÜPRAŞ İzmit Rafinerisi (Bengu.Yilmaz@tupras.com.tr)

Anahtar Kelimeler: FGR Sistemi, NO_x emisyonları, Endüstriyel Kazanlar, Baca Gazı Resirkülasyonu

ÖZET

Azot oksit emisyonlarının çevresel zararları kaynaklı Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğince emisyon limitleri sanayi kuruluşları için 2014 yılında yeniden belirlenmiş olup özellikle NO_x emisyon değerlerinin düşürülmesi önemli bir konu haline gelmiştir. Azot oksitler; yakıt kaynaklı, ani ve termal olmak üzere üçe ayrılmış olup termal NO_x kaynaklı emisyon değerinin düşürülmesi için baca gazının bir kısmını yanma havasına dahil eden FGR (Flue Gas Recirculation) sistemlerinin endüstriyel kazanlarda baca gazı NO_x emisyon değerini düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Key Words: FGR System, NO_x emissions, Industrial Boilers, Flue Gas Recirculation

ABSTRACT

Emission limits were re-determined for industrial organizations in 2014 by the Industrial Air Pollution Control Regulation due to the environmental damage of nitrogen oxide emissions, and especially reducing NO_x emission values has become an important issue. Nitrogen oxides are divided into three groups: fuel-derived, instantaneous and thermal, and it has been observed that FGR (Flue Gas Recirculation) systems, which include some of the flue gas into the combustion air to reduce the thermal NO_x-induced emission value, reduce the flue gas NO_x emission value in industrial boilers.

GİRİŞ

Azot Oksitler (NO_x), atmosferdeki çevresel sorunlara neden olan zararlı bileşiklerdir. NO_x'in atmosfer için başlıca zararları asit yağmurları, sera gazı etkisi ve ozon tabakası tahribatıdır. NO_x'in bu zararları, endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtlar ve enerji üretimi gibi kaynaklardan kaynaklanır. Bu nedenle NO_x emisyonlarının kontrol altına alınması ve azaltılması, çevresel ve sağlık açısından önemlidir. 2014 yılında Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre emisyon limitleri değişmiş olup birçok sanayi kuruluşu için baca gazındaki azot oksit emisyon değerlerini düşürmek önemli bir mesele haline gelmiştir [1]. Baca gazındaki NO_x emisyonlarını düşürmek için farklı teknik ve yöntemler bulunmakta olup bunlardan endüstride en yaygın olanlardan bir tanesi baca gazının bir kısmının yanma havası bünyesine katılması ile oluşturulan FGR (Flue Gas Recirculation) sistemleridir.

1. FGR VE NO_x İLİŞKİSİ

FGR (Flue Gas Recirculation) sistemi sanayi tipi kazanların baca gazlarındaki NO_x değerlerinin düşürülmesi amacıyla kurulan bir modifikasyondur. Baca gazı NO_x emisyonunun düşürülmesini sağlarken daha iyi bir yanma sağlayarak kazan verimini artırır. Bu tip modifikasyonda yanma sonrası oluşan baca gazının bir kısmı, temiz atmosfer atmosfer havası ile belirli oranda birleşerek kazanın yanma havasını oluşturur.

Yakıt kaynağı içerisindeki azot ve yanma havası içerisindeki azotun oksijen ile tepkimeye girmesi sonucu azot oksitli bileşikler oluşur ve bu bileşikler temel olarak NO_x olarak tanımlanır. Baca gazında oluşan NO_x'in üç türlü kaynağı vardır [2]:

- Yakıt Kaynaklı NO_x



- Ani NO_x
- Termal NO_x

1.1 YAKIT KAYNAKLI NO_x:

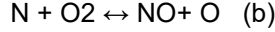
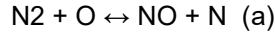
Baca gazındaki yakıt kaynaklı oluşan NO_x, yakıt içerisinde bulunan azot elementinden kaynaklanır. Yakıtın hava ile yanması sonucu azot elementi oksijen ile tepkimeye girerek gerçekleşen yanma reaksiyonu sonrası azot oksitli bileşikler (NO_x) açığa çıkar. Bu tür NO_x yalnızca sıvı ve katı fosil yakıtların yanması ile açığa çıkar [3].

1.2 ANİ NO_x:

Yanma reaksiyonun en başında gerçekleşen ani olarak oluşan NO_x bileşiğidir. Oluşumunun temel sebebi yakıt içerisinde bulunan hidrokarbon radikalleri kaynaklıdır. Yakıtça zengin alevlerde ani olarak gerçekleşir. Ani olarak gerçekleştiği için yanmanın sonraki aşamalarında bu tip NO_x'e müdahale etmek pek mümkün değildir. Endüstriyel kazanlarda yanma oksijen açısından zengin ortamda gerçekleştiği için bu tip NO_x oluşumu genellikle ihmal edilebilir düzeydedir [4].

1.3 TERMAL NO_x:

Kazanlarda yanma havası olarak adlandırılan atmosfer havası içerisinde bulunan azot molekülünün yine yanma havası içerisinde bulunan oksijen ile yüksek alev sıcaklığındaki tepkimesi ile oluşan azot oksitli bileşiklere verilen isimdir. Termal NO_x olarak adlandırılmasının sebebi yüksek alev sıcaklığında, yaklaşık olarak 1204°C'nin üzerinde oksijen molekülü (O₂) oksijen atomlarına ayrışır. Bu oksijen atomları azot molekülleri ve atomları ile tersinir tepkimesi sonucu NO bileşikleri oluşur. Bu reaksiyonlar Zeldovich mekanizması ile açıklanır [5]:



İlk denklemden (a) atmosfer havasındaki nitrojen molekülü oksijen atomu ile tepkimeye girer ve NO bileşiği ve nitrojen atomu açığa çıkar. Bu nitrojen atomu, oksijen molekülü ile tepkimeye girmesinden ise NO bileşiği ve oksijen atomu açığa çıkmış olur (b). Bu sebeple termal NO_x'i düşürmenin iki yolu vardır. Bunlardan ilki alev sıcaklığını düşürmek, ikincisi ise yanma havası içerisindeki fazla oksijen miktarını düşürmektir.

FGR ile kazanlarda hem alev sıcaklığı hem de yanma havası içerisindeki oksijen miktarı düşürülmüş olur, bu sayede FGR sistemi kazanların baca gazındaki termal NO_x emisyon değerini düşürmüştür.

1.3.1 FGR İLE ALEV SICAKLIĞININ DÜŞÜRÜLMESİ

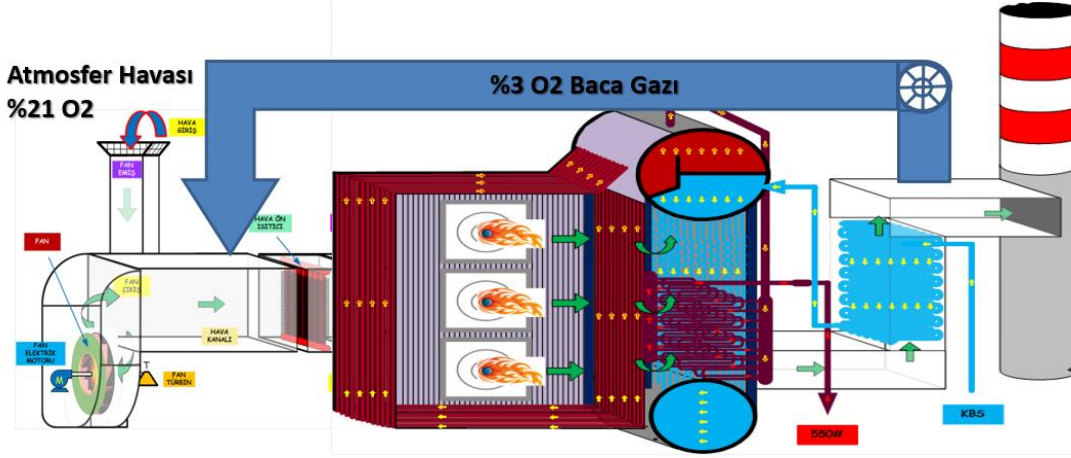
Yakıt içerisindeki hidrokarbonların yanması sonucu oluşan karbondioksit ve su moleküllerinin ısı sığası, havanın ısı sığasına göre çok daha fazladır. Bu sebeple baca gazının resirkülasyonu ile oluşacak yanma havasının ısı sığası, temiz atmosfer havasına göre daha fazla olacaktır. Bu sayede yanma ile açığa çıkan belirli miktardaki ısı salınımında yanma havasının özgül ağırlığın artması ile çalışma sıcaklığı yani alev sıcaklığı azalacaktır [3].

1.3.2 YANMA HAVASI İÇERİSİNDEKİ OKSİJEN MİKTARININ DÜŞÜRÜLMESİ

Kazanlarda tam yanma gerçekleşir ve hava yakıt oranı daima fazla oksijen olacak şekilde; tam yanmanın bozulmasını engelleyecek şekilde tasarlanmışlardır. Temiz havadaki yani atmosfer havasındaki oksijen içeriği yaklaşık olarak %21'dir, baca gazındaki oksijen değeri ise yaklaşık olarak %3'tür. Buna göre FGR ile, yanma havasının içeriğindeki baca gazının temiz havaya oranı yaklaşık olarak %20 oranı olacak şekilde yeni yanma havasının oksijen yüzdesi hesaplandığında [3];

$$(0.21) \times (0.8) + (0.03) \times (0.2) = 0.17$$

%17 olarak bulunur. FGR sayesinde %21 oranının oksijen barındıran yanma havası %17'ye düşürülmüş olur. Şekil 1'de konvansiyonel bir baca gazı çizimi ve FGR modifikasyonu modellenmiştir.



Şekil 1. Konvansiyonel Kazanlar ve FGR Modifikasyonu

2. FGR SİSTEMİ ELEMANLARI:

Mevcuttaki kazana FGR modifikasyonu ile birlikte ilave olan mekanik ekipmanlar, statik ekipmanlar ve enstrümanlar bulunmaktadır. Buna ilave olarak kazanın mevcuttaki emniyetli durma lojikleri de FGR sistemi ile birlikte revize edilmiştir, operasyonel anlamda değişiklikler yapılmıştır.

Mekanik Ekipmanlar:

- FGR fan
- VFD motor
- FGR manual isolation damper
- Pneumatically operated safety on-off damper

Statik Ekipmanlar:

- Spectacle blind flange
- FGR kanalı

Enstrümanlar:

- Manual Isolation Damper open/close switch
- Pneumatically operated safety on-off damper open/close switch
- FGR thermal flow meter (for indication)
- VFD panel

3. FGR İLE KAZAN LOJİKLERİ REVİZYONU:

3.1 KAZANLARDA YANMA KONTROLÜ:

Kazanlardaki yanma kontrol lojiğinin temel amacı ana heder buhar basıncını sabit bir değerde tutabilmektir. Kazan bu sabit buhar basıncı değerine göre buhar üretimini sağlar, basınç sabit olup üretim ve tüketimin dengede olması ana amaçtır. Bu basıncı sabit bir değerde tutarak üretimi sağlarken en kritik olan durum kazanda düzgün yanmayı korumaktır. Kazanlardaki düzgün yanmayı sağlayan en önemli parametre yakıt akışının ve yanma havasının doğru oranlanmasıdır.

Yanma kontrol lojiğinde ilk olarak mevcut buhar hederi basıncına göre kazanın üretmesi gereken buhar miktarı, kazandan istenilen ısı değeri şeklinde hesaplanır ve bu, kazan master değeri olarak adlandırılır. İlave olarak mevcut hava ile ne kadar yakıt yakılabileceği Hava/Yakıt stokiyometrik oranı kullanılarak hesaplanıp yakıtların toplam ısı değeri elde edilir. Kazan master'ından gelen değer ile mevcut hava ile hesaplanan ısı değeri karşılaştırılıp düşük olan değer yakıt akış kontrolörüne set olarak gönderilir. Bu iki ısı değeri karşılaştırması sonrası hesabın düşük olana göre yapılmasındaki amaç kazanda hava akışını arttırmadan yakıt akışını arttırmamak ve düzgün yanmayı korumaktır.

FGR sistemini devreye alma ve durdurma için lojiklerde revizyonlar yapılmıştır. FGR'yi devreye alırken en önemli koşul baca gazı sıcaklığının 145°C'nin üzerinde olmasıdır.

Eğer baca gazı sıcaklığı 145°C 'nin altında ise, yanma havasını oluşturmak üzere soğuk atmosfer havası ile karşılaştığında bu sıcaklık daha da düşecek ve asidik baca gazının çığlaşmasına neden olacaktır. Bu da hava kanalında bulunan kompansatörlere zarar verecektir. İlave olarak sistem ilk devreye alındığında FGR hava kanalı soğuk, baca gazı sıcak olduğu için kanal boyunca baca gazı soğumaktadır ve temiz hava ile karşılaştığı noktada sıcaklığı iyice düşüğü için kanalın tam bölgesinde çığlaşmaya bağlı deformasyonlar tespit edilmiştir. Bunun önüne geçebilmek; FGR kanalını hızlıca ısıtabilmek ve temiz havayla karşılaştığı noktada sıcaklığının daha fazla düşmesini engellemek amacıyla FGR fanına ilk start verildiğinde fan motor VSD'si %40 ile start alacak şekilde lojikler düzenlenmiştir. Bu VSD'nin karşılığı baca gazının tüm yanma gazına oranı %20 olacak şekilde ayarlanmıştır. İlave olarak tüm kompansatörler aside dayanımlı bez malzeme ile değiştirilmiştir.

Akışın sağlanabilmesi ve atmosfer havası ile baca gazının karışabilmesi için FGR fanı devreye alındıktan sonra fan önünde okunan basınç değerinin FD fanın beslediği hava kanalındaki basınç değerinden fazla olması gerekir. Eğer bu koşul sağlanır ise FGR fanı önündeki shut off damper açacaktır. Damperin açma koşulu bu iki basınç değerine bağlıdır.

FGR'yi durduran koşullar ise;

- Kazan yanma havası akımı veya basıncı düşük olması durumu
- FD fan durdu sinyalinin gelmesi durumu
- FGR kanalı basıncının windbox basıncından yani brülörlere gelen hava basıncından düşük olması durumu
- Kazan yanma mahali basıncının yüksek olması durumu

Olarak belirlenmiştir.

Operasyonel olarak baca gazındaki kirli partiküllerin yanma mahaline alınmaması ve hava kanalında bulunan hava ön ısıtıcıların finli tüplerinin bu kirli partiküllerle tıkanması riskini önlemek amacıyla rutin kurum üflemler esnasında FGR fanı durdurulacaktır.

4. FGR DENEMELERİ SONUÇLARI:

Kazanlarda FGR sonrası yapılan denemelerde toplam yakıtın %70'si fuel oil, %30'u fuel gaz olacak şekilde fuel oil/fuel gaz oranı sabit tutulmuş olup, farklı kazan yüklerinde denemeler gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de saatlik 40 ton buhar üretimindeki farklı baca gazı miktarının toplam yanma havasındaki yüzdesel oranına bağlı değişen NOx emisyon değerleri verilmiştir.

Tablo 1. NOx Değerinin Yüzdesel Baca Gazı Oranına Göre Değişimi

FGR (VSD)	% Flue Gas (FGR/Toplam Yanma Havası)	NOx (mg/Nm ³)
0%	0	367
30%	15	348
35%	16	344
40%	20	319

Yapılan denemeler sonrasında baca gazının yanma havasındaki oransal yüzdesi arttıkça NOx emisyon değerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, endüstriyel kazanlara ilave edilen FGR sistemi ile baca gazındaki termal NOx emisyon değerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Çevreye zararlı etkileriyle bilinen azot oksitlerin emisyonlarının azaltılmasının doğaya olumlu etkileri olacağı kaçınılmaz bir gerçektir.

KAYNAKÇA

[1] Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü. (2014, December 20). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/12/20141220-2.htm>

[2] Module 106: Natural gas boiler flue gas recirculation to reduce NOx emissions. CIBSE Journal. (2016, December 5). <https://www.cibsejournal.com/cpd/modules/2016-12>



BASINÇLI HAVA SİSTEMLERİNDE HAVA KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ÖLÇÜM ANALİZLERİ

Ahmet Faruk Fırat ¹, Dr. Çiğdem Gündoğan Türker ²

¹ ahmetfaruk.firat@festo.com, Festo Otomasyon, Teknoloji Merkezi, Türkiye

² cigdemgundoganturker@gmail.com, Değişim Akademi, Türkiye

ÖZET

Basınçlı hava sistemleri, endüstriyel ve ticari birçok uygulamada kullanılır ve işletmeler için önemli bir kaynaktır. Bu sistemlerde hava kalitesinin önemi, işletme verimliliği, ekipman güvenliği ve çalışan sağlığı açısından çok büyüktür. Basınçlı hava kalitesinin ISO 8573 standardında belirtilen partikül, nem ve yağ saflık sınıflarına göre değerlendirmesinin yapılması için sistemlerde ölçümler yapılabilmektedir. Bu çalışmada; 4 farklı endüstriyel işletmede farklı uygulama alanlarında ihtiyaç duyulan basınçlı hava kalitesi için alınan ölçüm sonuçlarına göre sorunlu alanlar değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Basınçlı Hava Sistemleri, Hava Kalitesi

ABSTRACT

Compressed air systems are used in many industrial and commercial applications and are an important resource for businesses. The importance of air quality in these systems is significant in terms of operational efficiency, equipment safety, and employee health. To assess the quality of compressed air according to the particle, moisture, and oil purity classes specified in ISO 8573 standards, measurements can be taken in the systems. In this study, problem areas are evaluated based on measurement results for the required compressed air quality in different application areas in four different industrial businesses

Key Words: Compressed Air Systems, Air Quality

1. GİRİŞ

Basınçlı hava sistemlerinde Enerji Verimliliği konusu, basınçlı hava sisteminin kurulum aşamasıyla başlar. İşletmenin basınçlı hava ihtiyaç analizinin yapılması, analiz sonucu doğru sistem tasarımı oluşturulması, yüksek verimliliğe sahip sistem bileşenlerinin seçilmesi ve verimliliğin devamı için bakım prosedürlerinin yürütülmesi önemli adımlar olmaktadır.

Pnömatik sistemlerin sağlıklı ve uzun ömürlü çalışması için kullanılan basınçlı havanın da belirli bir kalitede olması gerekir. Atmosferden gelen partikül ve nem ile kompresörden gelen yağ, basınçlı havayı kirleten unsurlardır. Bunlardan arındırmak yani şartlandırmak suretiyle basınçlı hava kalitesi artırılır. Her uygulama için ihtiyaç duyulan basınçlı hava kalitesi sınıfı farklıdır. ISO 8573-1basınçlı hava içerisindeki partikülleri, su ve yağı sınıflandırarak havanın kalitesini belirlemek için kullanılan hava temizlik standardıdır. Bu sınıflandırma, basınçlı havanın içerdiği parçacıkları; partikül boyutu ve sayısına, su miktarına ve yağ miktarına göre 3 ayrı başlık altında değerlendirmektedir [1].

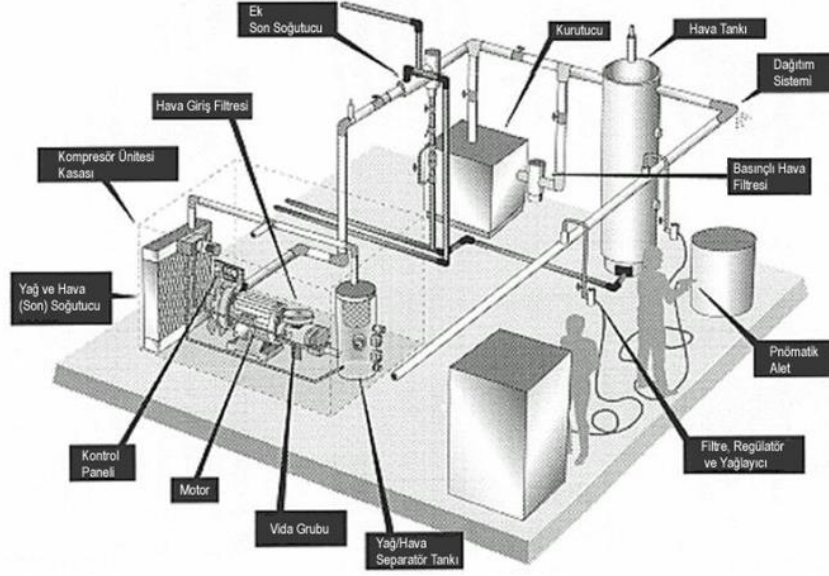
Bir basınçlı hava sistemi analizi, sıkıştırılmış havanın gerçek maliyetlerini ortaya çıkarabilir ve verimliliği ve üretkenliği artırmak için fırsatları belirleyebilir. Çünkü, basınçlı hava sisteminin çıktısı enerji tüketimi ve sistemin işletme maliyetini yıllık olarak etkiler. Kapsamlı bir basınçlı hava sistemi analizi, hem hava kaynağı hem de kullanımı arasındaki tüm etkileşimi incelemelidir. Hava sistemi analizinde basınçlı hava sisteminin tüm bileşenleri ayrı ayrı incelenir ve sorunlu alanlar belirlenir. Sistem sızıntıları, uygun olmayan kullanımlar, kötü sistem tasarımı, toplam sistem dinamikleri nedeniyle meydana gelen kayıplar ve düşük performans hesaplanır [2].

Bildiride farklı endüstriyel sistemlerdeki uygulamalarda yapılan hava kalitesi ölçümleri verilmekte, düşük hava kalitesinin sebepleri ve alınması gereken önlemler değerlendirilmektedir. İkinci bölümde basınçlı hava sistemi gereksinimleri, hava kalitesi kirleticileri ve ISO 8573 standardına göre saflık sınıflarından bahsedilmektedir. Üçüncü bölümde 4 farklı

endüstriyel işletmede farklı noktalardan alınan partikül, nem ve yağ ölçümleri değerlendirilmekte, sorunlu olanlar belirtilmektedir. Son bölümde ise sonuçlar verilmektedir.

2. BASINÇLI HAVA SİSTEMİ GEREKSİNİMLERİ

Şekil 1’de basınçlı hava sistemi diyagramı görülmektedir [3]. Resimde görülen sistemin basınçlı hava tankları, hava kurutucuları, hava hattı (yağ ve su tutucu) filtreleri ve basınçlı hava dağıtım tesisatı gibi diğer bileşenleri de bulunmaktadır.



Şekil 1: Basınçlı Hava Sistemi Blok Diyagramı

Basınçlı hava sistemleri ihtiyaçları, tesisteki son kullanımların gerektirdiği hava kalitesi, miktarı ve basınç düzeyine göre tanımlanır. İhtiyaçların dikkatli bir şekilde analiz edilmesi, basınçlı hava sisteminin doğru şekilde yapılandırılmasını sağlayacaktır.

Hava kalitesi, son kullanıcının gerektirdiği kuruluk ve kirletici madde düzeyine göre belirlenir ve filtreleme, kurutma ekipmanlarıyla gerçekleştirilir. ISO 8573-1 standardında basınçlı hava saflığı katı partiküller, nem ve yağ kriterlerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıfların her biri için standart, basınçlı havada bulunabilecek maksimum kirletici içeriğini tanımlar. Sınıf ne kadar yüksek olursa, gereken saflık derecesi de o kadar düşük olur. Pnömatik bileşenler için gerekli basınçlı hava saflığı seviyesi valfler ve silindirler gibi üreticiler tarafından belirtilir [4-5].

Tablo 1’de ISO 8573-1 Hava Kalitesi Standardında kirletici türlerinin miktarlarına göre hava kalitesi sınıfları verilmiştir. Standart pnömatrik bileşenler için örnek gösterilen ‘7.4.4’ saflık sınıflandırması sırayla katı partikül, nem ve yağ sınıflarını tanımlamaktadır [6-7].

Tablo 2’de bazı endüstriyel uygulamalarda pratikteki deneyimlere göre hava saflığı sınıfları yaklaşık olarak verilmektedir [8]. Tabloda verilen pilot hava; valfleri, silindirleri, kışkaçları vb. kontrol etmek için kullanılır ve ürünlerle doğrudan temas etmez. Üfleme havası (blast air); makineleri ve iş parçalarını temizlemek için kullanılır. İşleme ve işleme sırasında ürünle doğrudan temas eder. Proses havası; işleme veya işleme süreçlerinde fiziksel veya kimyasal olarak yer alan bir ortamdır. Ayrıca ürünleri taşımak için de kullanılabilir ve işleme sırasında ürünle doğrudan temas ettiği anlamına gelmektedir.



Tablo 1: ISO 8573-1 Basıncılı hava saflık sınıflandırma tablosu

ISO 8573-1:2010 Class	Solid particles				Water		Oil
	Max. number of particles per m ³			Mass concentration	Vapour pressure dew point	Liquid	Total oil content (liquid, aerosol and vapour)
	0.1 – 0.5 µm	0.5 – 1 µm	1 – 5 µm	mg/m ³	°C	g/m ³	mg/m ³
0	Stricter requirements than Class 1, defined by the device user						
1	≤ 20,000	≤ 400	≤ 10	–	≤ -70	–	0.01
2	≤ 400,000	≤ 6,000	≤ 100	–	≤ -40	–	0.1
3	–	≤ 90,000	≤ 1,000	–	≤ -20	–	1
4	–	–	≤ 10,000	–	≤ +3	–	5
5	–	–	≤ 100,000	–	≤ +7	–	–
6	–	–	–	≤ 5	≤ +10	–	–
7	–	–	–	5 – 10	–	≤ 0.5	–
8	–	–	–	–	–	0.5 – 5	–
9	–	–	–	–	–	5 – 10	–
X	–	–	–	> 10	–	> 10	> 10

Tablo 2: Endüstriyel uygulamalara göre hava saflık sınıfları

Typical applications	Specification of typical applications	Pilot air (S) Process air (P) or blast air (B)	Particles	Moisture (vaporous)	Total oil content
Cross-industry	Pilot air, general	S	7	4	4
	Operating medium for valves and cylinders (at Festo)	S			
	Operating medium for proportional directional control valves and pneumatic tools (at Festo)	S	6	4	4
Metal production and machining	Air-blasting moulds	P	5	4	3
Foundries	Core shooting	P			
Machine and plant construction	Blast air	B			
	Process air	P	1	4	1
Textile industry	Conveying air	P	3	4	2
Paper industry	Conveying air	P			
Publishing and printing industry	Conveying air	P			
Glasswork, ceramics	Conveying air	P			
Rubber and plastics industry	Blast air	B			
Rubber and plastics industry	Conveying air	P	1	4	1
Surface finishing	Blasting	P	3	4	2
	Powder-coating	P	1	4	1
	Painting	P			
Chemical industry, chemical fibre production	Conveying air	P			
Measuring and testing systems	3D measurement technology	P			
	Measurement and test air	P			
Tobacco processing	Conveying air	P			
Electrical engineering, electronics	Lighting	P	1	4	1
	CD manufacturing	P			
	Chip manufacturing	B	1	2	1
	Data disc manufacturing	B			
Pharmaceutical industry/food industry and dairies	Direct contact between compressed air and packaging material	P	1	4	1
	Direct contact between compressed air and "non-dry" products	P			
	Direct contact between compressed air and "dry" products	P	1	2	1

2.1. Katı Partiküller

Hava Kalitesi kirleticilerden ilki katı partiküldür. Partikül, atmosferden gelen toz ile kompresörden ve hava tesisatından gelen pas ve metal parçacıkları, kurum gibi maddelerdir. Katı partiküller, hava sistemi içindeki birçok farklı bileşen ve süreç üzerinde etkili olabilir; ekipman koruma, ürün kalitesi, enerji verimliliği, işçi sağlığı ve güvenliği gibi.

Özellikle kompresörler, filtreler, borular ve vanalar gibi ekipmanlar, partiküllerin tıkanmasına, aşınmasına ve hasar görmesine karşı hassastır. Bu nedenle, katı partikülleri sistemden uzak tutmak, ekipmanın uzun ömürlü olmasını sağlar. Basınçlı hava sistemleri, bazı endüstrilerde ürün kalitesini doğrudan etkileyebilir. Örneğin, gıda üretimi veya ilaç endüstrisi gibi hassas uygulamalarda kullanılan hava, ürünlerin temiz ve kontamine olmamış kalmasını sağlamak için özel filtreleme gereksinimlerine sahiptir. Katı partiküllerin bu sistemlere girmesi, ürün kalitesini tehlikeye atabilir.

Partiküller, hava akışını engelleyebilir ve sistemde basınç kaybına yol açabilir. Bu durum, daha fazla enerji tüketimine neden olabilir ve işletme maliyetlerini artırabilir. Katı partiküllerin havada bulunması, çalışanların sağlığını ve güvenliğini de riske atabilir. Özellikle toksik veya zararlı partiküller, solunum yoluyla çalışanlara zarar verebilir.

PNömatik uygulamayı partiküllerden korumak için mutlaka uygun boyutlu filtre kullanılmalı ve bakımları yapılmalıdır. Farklı boyutlarda partikül sayımı yapabilen cihazlarla partikül sınıfı ölçülebilmektedir.

2.2. Nem

Basınçlı hava sistemleri kirleticilerinden ikincisi nemdir. Atmosferik basınçta buhar fazında bulunan su, basınç altında yoğunlaşarak kondens yani sıvı faza geçer. Oluşan kondens kompresör su tutucu separatörleri ile ayrıştırılır ancak suyun ayrıştırılması havanın kuruduğu anlamına gelmez. İlave olarak kompresör hava kurutucu ile havanın kurutulması ve hava kalitesi standardına göre istenilen çığlenme sıcaklığının elde edilmesi gerekir. Filtrelerin hiçbir şekilde buhar



fazında nem tutamayacağı bilinmelidir. Havadaki nem miktarının ölçülmesi için en güvenilir yöntem basınçlı hava nem sensörüdür.

Uygulamaya bağlı olarak, basınçlı havaya farklı gereksinimler uygulanır. Belirli bir nem içeriğinin korunması, tüm sistemin kalıcı bir şekilde sorunsuz çalışması için her işlemde ön koşuldur. Basınçlı hava hatlarının çoğu çelik veya galvanizsiz çelikten üretilmiştir. Korozyon oranı % 50 bağıl nem oranının üzerinde keskin bir şekilde yükseldiğinden, bu değer hiçbir şekilde aşılmamalıdır. Kesikli hatlarda, yüksek nem nedeniyle zamanla korozyon meydana gelir. Pas zamanla yıpranır ve örnekleme noktalarına taşınır. Sonuç olarak, tıkanan kanallar, arızalı kontroller ve üretim kesintisi gibi sorunlar oluşturabilir.

Bu nedenlerle; 'Dew point' değerini izlemek ve uygun seviyelerde tutmak, ekipmanların korunmasına yardımcı olur. Ayrıca, bazı endüstrilerde ürün kalitesi için hava nem seviyesi kritik öneme sahiptir. Örneğin, elektronik ürünlerin üretiminde veya gıda işleme endüstrisinde, nemin kontrol altında tutulması çok önemlidir. Dew point değerinin doğru bir şekilde izlenmesi ve kontrol edilmesi, basınçlı hava sisteminin enerji verimliliğini artırabilir. Çünkü, çok düşük dew point değerleri, hava kuruluğunu artırarak enerji kayıplarını azaltabilir.

2.3. Yağ

Basınçlı hava sistemlerindeki üçüncü kirlenici ise yağdır. Basınçlı hava sistemlerinde yağ kalitesi, kompresörler ve diğer hava işleme ekipmanları tarafından üretilen sıkıştırılmış hava içindeki yağın niteliklerini ve saflığını ifade eder. Kompresörden gelen yağ, pnömatik sistemlerdeki orijinal yağı bozar, kurutucu eşanjörleri üzerinde zamanla tabaka oluşturarak kurutucu performansını düşürür, ayrıca üretilen ürüne temas ediyorsa ürün kalitesini bozabilir. Bu nedenle uygulama hassasiyetine göre yağın sistemden uzaklaştırılması gerekir. Sıvı ve aerosol haldeki yağ filtreler tarafından tutulur, ancak buhar fazındaki yağı tutmak için aktif karbonlu özel filtreler kullanmak gerekir.

Kompresörler, havayı sıkıştırma işlemi sırasında yağ ile çalışır. Bu yağ, kompresörün iç mekanizmalarını yağlar ve soğutur. Kompresör yağı, sıkıştırılmış hava ile temas edebilir ve bu da yağın hava içine sızmasına neden olabilir. Bu nedenle, kompresör yağının kalitesi, hava içindeki yağ miktarını ve kalitesini belirler.

Yağ kalitesi, içindeki su miktarını ve nem seviyelerini de içerir. Yağın su içermesi veya aşırı nemli olması, kompresörde ve hava sisteminde çeşitli sorunlara neden olabilir. Bu nedenle, yağın su içeriği düşük tutulmalıdır [8-9].

3. BASINÇLI HAVA KALİTESİ ANALİZİ UYGULAMALARI

Basınçlı hava kalitesinin ölçümü, servis ünitelerini incelemeyi, su ve yağ içeriğini ölçmeyi, hava sıcaklığını ve basıncını belirlemeyi ve ayrıca basınç noktasını belirlemeyi içerir. Basınçlı hava saflığı; katı partiküller, nem ve yağ kriterlerine göre sınıflar ISO 8573-1 standardından referans alınmaktadır.

Tablo 3'de 4 farklı endüstriyel işletmede farklı uygulamalar için alınan ölçüm sonuçları verilmektedir. Partikül ölçümü için CS Instruments marka PC 400 model partikül sayıcı, DS 500 model ekranlı veri kaydedici, Çiğlenme noktası sıcaklığı ölçüm için CS Instruments marka FA 510 model nem sensörü ve DS500 model ekranlı veri kaydedici, Yağ ölçümü için TSI marka Dusttrak II model yağ ölçer kullanılmıştır.

Bir No'lu işletmede torna makinasından basınçlı hava kalitesi ölçümü yapılmıştır. Çiğlenme noktası değeri +20,80 °C olarak ölçülmüştür. ISO 8753-1 uyarınca, test edilen basınçlı hava su içeriği sınıfı 6'dan büyük olarak nitelendirilmiştir. Bu değer beklenen seviyenin oldukça üzerindedir. Standart pnömatik bileşenlerde çalışma için, gereken su içeriği, dış hava koşullarına bağlı değişkenlik gösterebilmekte olup, gazlı kurutucu kullanılırken beklenen su içeriği değeri +3 / +7 °C arasındadır. Yapılan ölçümler sonucunda ortaya çıkan değer, beklenmeyen ve kabul edilemeyecek ölçüde aşılmıştır. Bu ekstra sonuç sonrası kurutucu kontrolü gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sırasında kurutucunun arıza durumuna geçtiği ve çalışmadığı tespit edilmiştir. Pnömatik bileşenlerin çalışma ömrü açısından kurutucu arızasının bir an önce giderilmesi önemle tavsiye edilmiştir. Yağ kalitesi değeri 0,1mg/m³ olarak ölçülmüştür. ISO 8573 kapsamında 2. sınıfta yer almaktadır. Bu istenen sonuçtan daha iyi bir sonuçtur.

İki No'lu İşletmede temiz oda girişinden hava kalitesi ölçümü alınmıştır. İşletme genelinde büyük katı partikül ile karşılaşılmamış olup, 100 mikronun altındadır.

0.1 – 0.5 µm 38210,5 adet / m³

0.5 – 1.0 µm 1871,68 adet / m³

1.0 – 5.0 µm 98 adet / m³

Ölçüm noktasında çiğlenme noktası sıcaklığı -38,92 °C olarak belirlenmiştir. Bu değer hava kalitesi sınıflarından, 2. ve 3. sınıflar arasında 2. sınıfa çok daha yakın bir değere sahiptir. 2. sınıfa sadece -1,08 °C uzaklıkta olup tolere



edilebilecek bir değere sahiptir. Bu değer üretimi olumsuz etkileyebilecek herhangi sorun oluşturmamaktadır. Daha uzun süreli (4-3 saatlik) bir ölçüm alınması durumunda -40 °C değerlerine ulaşabileceği düşünülmektedir. Ölçüm noktasındaki yağ miktarı 0,012 mg/m³ olarak belirlenmiştir. Ölçüm noktasındaki nihai hava kalitesi ISO8573-1:2010 uyarınca [2:3:1] olarak belirlenmiştir. İşletmede basınçlı hava kalitesi genel olarak iyi durumdadır.

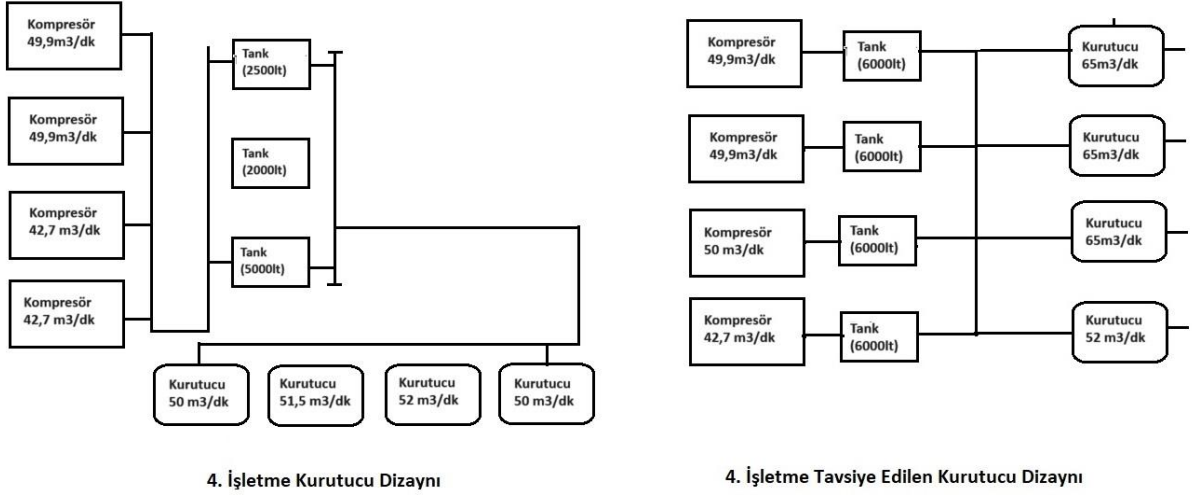
Üç No'lu işletmede ölçümler basınçlı hava tankından alınmıştır. Çiğlenme noktası değeri +4,8 °C olarak ölçülmüştür. ISO 8753-1 uyarınca, test edilen basınçlı hava su içeriği açısından Sınıf 5 olarak nitelendirilmiştir (beklenen seviyenin biraz üzerinde). Standart pnömatik bileşenlerle çalışma için gereken su içeriği, beklenen ve kabul edilebilir olan sadece marjinal olarak aşılmıştır. Yağ kalitesi değeri 0,1 mg/m³ olarak ölçülmüştür. ISO 8573 kapsamında 2. sınıfta yer almaktadır. Bu istenen sonuçtan daha iyi bir sonuçtur.

4 No'lu işletmede, toplam kapasitesi 203 m³/dk olan 4 adet kurutucunun bulunduğu toplam 185,2 m³/dk kapasiteli bir kompresör odasında ana hattan ölçümler gerçekleştirilmiştir. DEW point değeri +21.5°C ölçülmüştür. ISO 8573-1 uyarınca, test edilen basınçlı hava su içeriği sınıfı 6'dan büyük olarak nitelendirilmiştir. Bu değer beklenen seviyenin oldukça üzerindedir. Bu kabul edilemeyecek sonuç üzerine kurutucu çıkışlarından tekrar ölçümler alınmış ve sorunlu kurutucu tespit edilmeye çalışılmıştır. Standart pnömatik bileşenlerde güvenli çalışma için, gereken su içeriği dış hava koşullarına bağlı değişkenlik gösterebilmekte olup, gazlı kurutucu kullanılırken beklenen su içeriği +3/+7°C arasında olup, bu değerler 4 ve 5 no'lu sınıflardadır. Yağ kalitesi değeri 0,1mg/m³ olarak ölçülmüştür. ISO 8573-1 kapsamında 2. Sınıfta yer almaktadır. Bu istenen sonuçtan daha iyi bir sonuçtur.

Tablo 3: Farklı endüstriyel işletmelerde farklı uygulamalardan basınçlı hava kalitesi ölçümleri

Ölçüm Sonuçları	İstenen	Ölçülen
1 no'lu İşletme Torna Makinası	Partikül 5-10mg/m ³ Class:7	
	DEW ≤+3°C Class:4	20.10°C Class: >6
	Yağ 5 mg/m ³ Class: 4	0.1 mg/m ³ Class: 2
2 No'lu İşletme Temiz Oda	Partikül 5-10mg/m ³ Class:7	≤100µ 2
	DEW ≤-20°C Class: 3	-38,92 Class: 2
	Yağ 5 mg/m ³ Class: 4	0.012 mg/m ³ Class: 1
3 No'lu İşletme Hava Tankı	Partikül ≤20000 ≤400 ≤10µ - Class: 1	
	DEW ≤+3°C Class: 4	4.80°C Class: 5
	Yağ 5 mg/m ³ Class: 4	0.1mg/m ³ Class: 2
4 No'lu İşletme Kompresör Odası Kurutucu Çıkışları	Partikül ≤20000 ≤400 ≤10µ - Class:1	
	DEW ≤+3°C Class:4	21.5°C Class: 6
	Yağ 5 mg/m ³ Class:4	0.1mg/m ³ Class: 2

Kurutucu kapasiteleri toplamı yeterli görünmesine rağmen, hava kalitesinin kötü olduğu görülmektedir. Öncelikle kurutucu bakımlarının yapılması önerilmektedir. Ancak, kurutucu kapasitesi hesaplanırken, basınçlı hava tutucu giriş sıcaklığı, kurutucu bulunduğu ortam sıcaklığı gibi etkenler de göz önüne alınarak hesaplama yapılmaktadır. Bu bilgiler göz önüne alındığında toplam kurutucu kapasitesi 140,5m³/dk olmakta olup, toplam kompresör kapasitesini (185,2m³/dk) karşılamamaktadır. Bu nedenle bir diğer önlem olarak ; her kompresörün ayrı ayrı kurutucusu olması tavsiye edilmektedir. Güvenlik açısından da kurutucuların birbirine by-pass bir şekilde tesisatının yapılması önerilmektedir. Şekil 2'de kurutucu hattı tavsiye edilen tesisat dizaynı verilmektedir.



Şekil 2: 4. İşletme kurutucu hattı ölçüm yapılan dizaynı ve ölçüm sonrası tavsiye edilen dizaynı

4. SONUÇ

Prosesin sorunsuz ve uzun ömürlü çalışması için farklı uygulamalar, farklı seviyelerde basınçlı hava saflığı gerektirir. Basınçlı hava sistemlerinde partikül, yağ ve nem ölçümleri alınarak, hava kalitesi analiz edilmektedir. Analizlerde tüm bileşenler ayrı ayrı incelenir ve sorunlu alanlar belirlenmektedir. Ayrıca, sistem sızıntıları, uygun olmayan kullanımlar, kötü sistem tasarımı, toplam sistem dinamikleri nedeniyle meydana gelen kayıplar ve düşük performans hesaplanmaktadır.

Yapılan ölçüm çalışmalarından farklı uygulamalar için hava kalitesi ölçümlerinde alınan değerler ile ISO 8753-1 uyarınca istenilen sınıfları karşılaştırılmaktadır. Sorunlu olan sonuçlar yorumlanmakta ve gereken önlemlerin alınması için raporlanmaktadır.

Ölçüm sonuçlarından elde edilen veriler doğrultusunda, basınçlı havadaki nem miktarı değeri için (dew point değerinin) en dikkat edilmesi gereken konulardan biri de kurutucu seçimleri ve bakımları olmaktadır. Kompresör çalışma basıncı, basınçlı hava kurutucuya giriş sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve SET edilen Dew point değerlerine göre kurutucu düzeltme faktörü belirlenmektedir. İşletmeler, basınçlı hava kapasitesine göre düzeltme faktörünü göz önünde bulundurmadan seçim yaptıkları zaman kurutucu kapasitesi yetmemektedir. Bu çalışmanın, basınçlı hava nem değerini kötü yönde etkilediği ölçüm sonuçlarında da görülmektedir. Raporlamada işletmeye yeni bir tesisat dizaynı önerilmiştir. Karşılaşılan diğer bir önemli durum ise; kurutucuların filtreleri tıkanmış olabilmekte, kondens boşaltma tahliyesi tıkalı veya arızalı olabilmektedir.

Basınçlı hava sistemlerinde hava kalitesinin önemi, ekipman ömrü ve verimliliği, ürün kalitesi, işçi sağlığı ve güvenliği, enerji verimliliği açısından değerlendirilmektedir. Bu nedenlerle, basınçlı hava sistemlerinde hava kalitesi göz ardı edilmemelidir. İşletmeler, bu sistemlerin tasarımı, bakımı ve işletimi sırasında hava kalitesini göz önünde bulundurmalı ve uygun filtreleme, nem kontrolü ve temizlik önlemleri gibi tedbirleri almalıdır. İşletmelerin verimliliğini artırırken aynı zamanda çalışanların sağlığını ve güvenliğini korumaya yardımcı olur.



tmmob
makina mühendisleri odası

KAYNAKLAR

1. İlhan Y., 2017, 'Basıncılı Havada Enerji Verimliliği ve Tasarruf Yöntemleri', VII. Ulusal Hidrolik-Pnömatik Kongresi, syf: 387-401.
2. Fırat A.F.F, Gündoğan Türker Ç., 2022, 'Basıncılı Hava Sistemlerinde Hava Kaçak Tespiti ve Enerji Verimliliğine Etkisinin Deneysel Olarak Analizi', V. Ulusal Mühendislikte Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi.
3. Brown P., 'Compressed Air Energy Efficiency: Methods and Measures', University of Illinois, Chicago
4. 'Improving Compressed Air System Performance', US Department of Energy.
5. Šešlija D., Milenkovic I., Dudić S., 2012, 'Increasing the Energy Efficiency in Compressed Air Systems', Intech, chapter 7, syf: 151-174.
6. TS ISO 8573-1 Standart: Compressed air-Part 1:Contaminants and purity classes.
7. Qin H., McKane A., 'Improving Energy Efficiency of Compressed Air System Based on System Audit'.
8. 'Compressed Air Preparation in Pneumatics', Whitepaper, Festo.



VOLANLI ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

Dr. Haydar KEPEKÇİ*

*İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü
hikepekci@gelisim.edu.tr

Özet

Bu çalışma volanlı enerji depolama sistemlerinin potansiyelini ve avantajlarını incelemektedir. Volanlı enerji depolama, kinetik enerjiyi dönme hareketi yoluyla depolayan ve geri dönüşüm sağlayan bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Bu sistemler, yüksek enerji yoğunluğu, hızlı şarj/deşarj kabiliyeti ve uzun ömür gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının dalgalanmalarını dengelemek ve güç sağlamak için etkili bir çözüm olarak da görülmektedir. Bu makale, volanlı enerji depolama sistemlerinin mevcut durumunu, çalışma prensiplerini ve uygulama alanlarını ele almaktadır. Sonuç olarak, volanlı enerji depolama, gelecekte enerji depolama sektöründe önemli bir rol oynayabilir.

Anahtar kelimeler: Volanlı enerji depolama sistemleri, Kinetik enerji depolama, Enerji depolama teknolojisi

Abstract

This article examines the potential and advantages of flywheel energy storage systems. Flywheel energy storage stands out as a technology that stores and recycles kinetic energy through rotational motion. These systems offer advantages such as high energy density, rapid charging/discharging capabilities, and long lifespan. Moreover, they are seen as an effective solution for balancing fluctuations in renewable energy sources and providing power. This article discusses the current status, working principles, and application areas of flywheel energy storage systems. In conclusion, flywheel energy storage could play a significant role in the future of the energy storage sector.

Keywords: Flywheel energy storage systems, Kinetic energy storage, Energy storage technology

1. GİRİŞ

Hızla gelişen teknoloji, kontrolsüz artan nüfus ve gündün güne dijitalleşen yaşam sebebiyle enerji ihtiyacı dünya genelinde artmaktadır. Yakın geçmişte hayatımızda olmayan birçok elektronik aletle tanışmak hayatımızı kolaylaştırdığı gibi enerjiye olan bağımlılığımızı da yüksek seviyelere çekmiştir. Haliyle üretilen enerji miktarı her zaman ve her durumda tüketilen enerjiyi karşılayamamaktadır. Bu durumda artan enerji talebini karşılayabilmek için üretilen enerjinin verimli bir şekilde depolanması lazımdır (Ünver, 64).

Günümüzde kullanılan enerjinin büyük bölümü konvansiyonel yakıtlardan sağlanmaktadır. Ancak bu tür yakıtların rezervlerinin tükenmesinin yakın olması ve kullanılmaları sırasında oluşan sera gazı salınımının çevreye ağır hasarlar vermesi sebebiyle alternatif enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır. Zira küresel ısınma sadece çevreye değil aynı zamanda gelecek nesillere bırakacağımız dünyaya da zarar vermektedir. Bu sorunla başa çıkmak için sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelim hızlanmıştır. Ancak bu alternatif kaynaklardan enerji üretim süreci iklim koşullarına ziyadesiyle bağlıdır. Mesela güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan PV paneller temmuz ayında maksimum verim sağlarken, aralık ayında bu seviye yarı yarıya azalmaktadır. Hatta bazı durumlarda havanın yağışına veya bulutlu olma durumuna göre alternatif kaynaklardan enerji üretimi anlık değişim bile gösterebilmektedir. Meydana gelen bu durum enerji talebinin karşılanamaması manasına gelmektedir. Bu sorunu çözmek ve istenen her durumda enerjiye ulaşabilmek için enerji depolama sistemleri kullanılabilir. Enerji depolama sistemleri sayesinde üretilen fazla enerji, depolama ünitelerine aktarılmakta ve enerji kaynaklarının olmadığı yerlerde veya yetersiz olduğu durumlarda herhangi bir eksiklik hissedilmeden sistemlerin çalışmasını sağlamaktadır (Hadjipaschalis, 1517).

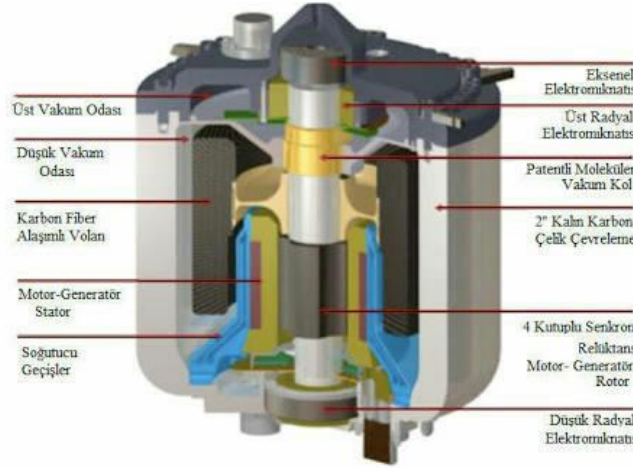
Enerjiye olan ihtiyacın artmasıyla kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri hayatımıza girmiştir. Böylece atık ısı tekrar çevrime sokulup ondan yararlanılmaktadır. Bu sistemlerin kullanılmadığı sanayi bölgelerinde atık ısı depolanabilir ve enerji arzının talebi karşılamadığı bölgelerde kullanılabilir. Ayrıca yaz aylarında PV panellerden elde edilen enerji depolanarak yılın farklı zamanlarında kullanılabilir. Bu sayede enerjiye gereksinim duyan sistemlerin çalışma sürekliliği

sağlanmakta ve enerji tasarrufu yapılabilmektedir. Enerji depolama sistemlerinin yaygınlaşarak kullanılması çevreye yararlı etki sağlayacaktır. Çünkü ihtiyaç duyulan her an enerji üretilmesine gerek olmayacaktır (Yılmazoğlu, 37). Zira enerji üretiminin büyük bölümünün konvansiyonel yöntemlerle yapıldığı ve bu durumun çevreye verdiği sayısız zarar göz önünde bulundurulursa, bu tür sistemlerin dünya üzerinde yaşayan canlı sağlığına da yarar sağlayacağı görülmektedir. Dünyada yaşanan enerji krizi de göz önünde bulundurulursa enerji depolama sistemlerinin sağlayacağı ekonomik tasarrufun da ülkelerin ekonomisine ciddi katkılar sağlayacağı söylenebilir. Bundan mütevellit sadece az gelişmiş veya gelişmekte olan ülkeler değil, çok sayıda gelişmiş ülke de enerji depolama sistemleri üzerine gerek akademik gerekse sektörel çalışmalar yapmaktadır. Enerji sistemlerinin arz güvenliği, sistem stabilitesinin sağlanması, enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması, iletim dağıtım probleminin azaltılması ve maaliyetlerin minimize edilmesi amacıyla enerji depolama konusu üzerine ciddi araştırmalar yapılmaktadır (Sarı, 3-6).

Kullanılan hem konvansiyonel hem de yenilenebilir enerji kaynakları iklim şartlarına son derece bağımlı durumdadırlar. Enerji ihtiyacının her durumda karşılanabilmesi açısından enerji depolama üniteleri oldukça büyük öneme sahiptir. Üretilen fazla enerji farklı tür enerji depolama ünitelerine aktarılmakta, depolanan bu enerji ise ana kaynakların mevcut olmadığı ya da yetersiz olduğu durumlarda yük talebinin karşılanmasında kullanılmaktadır. Özellikle şebekeden bağımsız uygulamalar için enerji depolama ünitelerinin araştırılması ve incelenmesi oldukça büyük önem arz etmektedir. Enerji depolamanın birçok yöntemi vardır. Yüksek depolama kapasitesi, yüksek şarj verimi, uzun kullanım ömrü ve ekonomik olması depolama sistemlerinden beklenen özelliklerdir. En ideal enerji depolama sistemi; en az hacimde en yüksek oranda enerji depolamayı sağlayan ve enerji depolama yöntemlerinin en yaygın olanlarından birisi volanlı sistemlerdir.

2. Volanlı Enerji Depolama Sistemlerinin Çalışma Prensipleri

Volan, enerjiyi kinetik enerji formunda mekanik olarak depolayabilen bir eksende dönen bir küttür. Volanı mekanik olarak hareketlendirebilmek ve döndürebilmek için bir enerjiye gereksinim vardır. Volan dönmeye başladığında dönme hızı ve ataletine bağlı olarak belirli bir miktar enerjiyi depo eden mekanik bir batarya gibi çalışmaktadır. Volan sistemi bileşenlerinin görünümü Şekil 1'de verilmiştir (Emeksiz, 139).



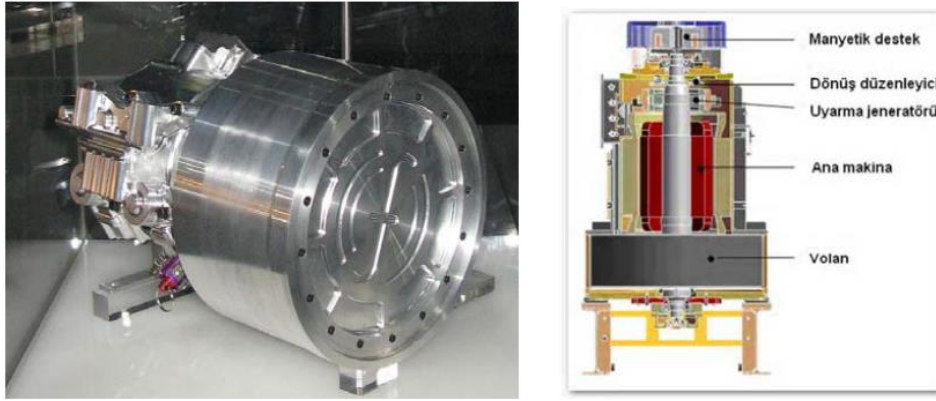
Şekil 1. Volan Sistemi Bileşenleri

Kinetik enerjinin bir volanın kütlede depolanması yüzyıllardır bilinen bir yöntemdir. Volanlar; kontrollü güç sağlamak, büyük güç etkileri meydana getirmek amacıyla, uzay, ulaşım, telekomünikasyon ve nükleer araştırma endüstrilerindeki güç sistemlerinde başarıyla kullanılmaktadırlar. Dünyanın hiçbir yerinde büyük ölçekli volan sistemi enerji depolamak amacıyla kullanılmamaktadır. Volan kullanarak enerji depolamadaki temel sorun, volanın yapım malzemesinin çelik olmasıdır. Volanlar yüzyıllardan beri kullanılan en eski enerji depolama yöntemlerinden birisidir. Çalışma prensibi temel olarak kinetik enerji depolanması olarak tarif edilebilir. Volanlar yüzyıllardan beri kullanılan en eski enerji depolama yöntemlerinden birisidir. Çalışma prensibi temel olarak kinetik enerji depolanması olarak tanımlanabilir. Mekanik sistemlerde tahrik gücünün fazla olduğu zamanlarda fazla enerjiyi volan üzerine alır ve enerji ihtiyacının arttığı zamanlarda depoladığı enerjiyi aktararak enerji dengelenmesini sağlar. Eksenel hareketin radyal harekete çevrildiği mekanik sistemler için tercih edilmesi avantaj sağlar. Bu tür sistemlerde volanlar batarya görevini görmektedir (Aljohani,

151). Volanlı enerji depolama sistemlerinin giderek yaygınlaşmasının sebeplerinden birisi volan malzemesinin dayanıklılığının artmasına vesile olacak ısıya ve titreşime karşı dayanımı yüksek kompozit malzemelerin imal edilebilmesidir. Eski dönemlerde volanlı sistemlerde kullanılan alüminyum, dökme demir ve yapı çeliği gibi geleneksel malzemelerin dayanıklılığı kompozit malzemelere göre yetersizdir.

3. Volanlı Enerji Depolama Sistemlerinin Tarihçesi

Volanlı enerji depolama ilk icat edildiğinde mekanik enerjiyi depolayan ve şebekeye gerektiği zaman enerji aktaran bir sistem iken, günümüzde mekanik enerji ile elektrik enerjisi arasında dönüşüm yapabilen bir hale gelmiştir. Tarihsel olarak araştırma yapıldığında, dökme demirden yapılan volanların yerlerini metalurjik gelişmelerin ürünlerinden olan kompozit malzemelerin aldığı görülmektedir. Modern volanlı depolama sistemleri şebekeden aldıkları elektrik enerjisini dönme kuvvetine çevirir ve kinetik enerji elde eder. Gereksinim duyulan hallerde ise depoladığı enerjiyi tekrar elektrik enerjisine çevirerek geri verir. Volanlı enerji depolama sistemleri diğer enerji depolama türleri gibi geniş çaplı kullanıma çok uygun değildir. Bu sistemler kısa sürelerde büyük güç üretilmesi ve tüketilmesi gereken yerlerde kullanılabilirler. Özellikle elektrikli ulaşım sistemleri ve endüstriyel asansör uygulamalarının kullanıldığı yerlerde volanlı enerji depolama yaygın olarak kullanılmaktadır (Kozak,22).



Şekil 2. Yüksek hızlı volan sistemi

En genel tabirle volanlar, dönen bir kütle kullanarak kinetik enerjiyi depo etmeye yarayan nesnelere dir. 1961 yılında NASA uzay konulu çalışmalarında volanlardan yararlanmış tır. Volanlar kinetik enerjiyi mekanik olarak depolayan araçlardır. İlk kullanım alanı uzay teknolojisi olan volanlar, bu konudaki çalışmaların artmasıyla beraber endüstride farklı alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Volanlardan enerji elde edebilmek için mekanik olarak dönmesine yetecek bir enerji sağlamak gerekmektedir. Dönme hızı arttıkça volanlar ürettikleri enerjinin bir kısmını depolayacaklardır. Volanlarda depolanan enerji bir jeneratör vasıtasıyla elektrik enerjisine de dönüştürülebilir (Cabeza, 14-16). Volanların dönme hızı arttıkça, kinetik enerjisi de artacak ve haliyle depoladıkları enerji miktarı da ziyadesiyle artacaktır. Bir volanın depoladığı enerji miktarını arttırmanın en etkili yöntemi budur. Volanların depoladığı enerji kinetik enerji ile ölçülebildiğine göre, hız ikiye katlandığında enerji dörde, hız üçe katlandığında enerji dokuz katlanacaktır.

4. Volanlı Enerji Depolama Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

Enerji depolama yöntemleri arasında volanların tercih edilebilirliğini arttıran birtakım faktörler vardır. Bunlara örnek olarak kısa sürede şarj edilebilmeleri ve depolama verimlerinin yüksek olması verilebilir. Bataryalı enerji depolama sistemlerinde şarj süresi saatler ile ölçülürken volanlarda bu süre dakikalarla ölçülmektedir. Volanlı enerji depolama sistemlerinin ömrü ortalama 20 yıl civarındadır. Bu da muadili olan diğer sistemlere göre avantaj olarak göze çarpmaktadır. Volanlı sistemlerin göze çarpan en büyük dezavantajı sürtünme kayıpları ve yüksek maliyetidir. Hareketsiz kalan volanlar saatte %20 civarında kayıp yaşamaktadırlar. Enerji verimliliği konusundaki başarısıyla diğer depolama sistemlerinin önünde olan volanlar, hareketsiz oldukları zaman önemli ölçüde verim kaybı yaşamaktadırlar (Kozak,27).

Volanlarda dönme hızı arttırılarak kinetik enerji depolanabileceği gibi, dönme hızının azaltılmasıyla da biriken enerji serbest kalmaktadır. Kısacası, volan enerjiyi depolayan bir çeşit mekanik bataryadır. Volanlı enerji depolama sistemlerinde bir elektrik makinesinden enerjinin dönüştürülmesi için tahrik gücü ve kinetik enerjiyi depolamak için bir kütle gerekmektedir. Şarj modundayken elektrik makinesi bir motor gibi çalışmaktadır ve elektriği mekanik enerjiye



dönüştürür. Dönüştürülen bu enerjiyi dönen diskte saklamak volanın hızını artırır. Deşarj modu sırasında, jeneratörün çalışması depolanan kinetik enerjiyi geri verir ve hız buna göre azaltılır. Volan, yük talebinin arttığı periyotlara tahrik gücü fazla olan periyotlardan üzerine aldığı fazla enerjiyi yüke aktararak yük dengelemesi yapar. Bu mekanik tahrik sistemlerde doğrusal hareketin dönme hareketine çevrilmesinde ideal bir çözümdür. Burada volan, mekanik batarya görevindedir. Az kayıplı rulmanların ve yüksek dayanıklılığa sahip kompozit malzemelerin gelişmesiyle volanlar önemli hale gelmiştir. Kullanım alanı yaygınlaşan volanlar gelişen teknolojiyle günümüzde elektrik ve mekanik dönüşümlerinin olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır (Uykız,30-31).

5. Volanlı Enerji Depolama Sistemlerinin Tipleri

Volanlı enerji depolama sistemleri farklı yataklama tiplerine sahiptir. Bunlar; kaymalı yataklar, manyetik yataklar, süper iletken yataklar ve rulmanlı yataklardır. Kaymalı yataklar, iki makine elemanı arasındaki dönel hareketi kayma hareketi ile sağlayan yataklardır. Rulmanlı yataklar, bünyelerindeki yuvarlanma elemanları sayesinde dönel hareketi sağlarlar. Manyetik yataklar, mil ve eksen etrafında boşlukta asılı kalarak serbest bir şekilde dönen yataklardır. Hiçbir şekilde mekaniksel sürtünme ve yağlanmaya maruz kalmadıklarından dolayı, sessiz çalışma ve temizlik gibi birçok avantajlara sahiptirler. Süper iletken yataklar, sıvı azot ile soğutulan kritik sıcaklıktaki maddelerin üzerlerine getirilen kalıcı mıknatıs hiçbir temas olmadan havada asılı kalabilmeleri ile dönen yataklardır.

6. Volan Sistemleri Bileşenleri

Volanlı enerji depolama sistemleri beş ana bileşenden oluşur. Bunlar; volan rotoru, elektrik makinesi, yatak, muhafaza kabı ve güç elektroniğidir.

6.1. Volan Rotoru

Bir volanda depolanan enerji miktarı, rotorun şekli ve malzemesi ile belirlenir. Denklem 1 'de gösterildiği gibi volanda depolanan kinetik enerji miktarı atalet momenti ve açısal hızının karesi ile doğru orantılıdır.

$$E = \frac{1}{2} J \omega^2 \dots \dots \dots (1)$$

E Volanda depolanan kinetik enerjiyi, J atalet momentini ve ω açısal hızı temsil etmektedir.

Bir volanın minimum hız (ω_{min}) ve maksimum hız (ω_{max}) aralığındaki yararlı enerji miktarı Denklem 2'de verilmiştir.

$$E = \frac{1}{2} J (\omega_{max} - \omega_{min}) \dots \dots \dots (2)$$

Elektrikle çalışan bir volan normalde (ω_{min}) ve (ω_{max}) arasında çalışır. Büyük gerilim değişimlerini önlemek ve verilen güç değeri için maksimum motor-jeneratör torkunu sınırlamak için çalışır. Atalet momenti, rotorun kütlelerinin ve rotor şekil faktörünün bir fonksiyonudur. Volanlar genellikle kısa ve disk tipinden, içi dolu veya içi boş silindirler şeklinde yapılmıştır. Katı silindir veya disk tipi bir volan için, atalet momentinin hesabı Denklem 3'te verilmiştir (Uykız,32-38).

$$J = \frac{1}{2} m r^2 \dots \dots \dots (3)$$

m , rotor kütlelerini ve r , dış yarıçapı temsil etmektedir.

Dış yarıçapı b ve iç yarıçapı a olan içi boş silindir volanı için atalet momenti hesabı Denklem 4'te verilmiştir.

$$J = \frac{1}{2} m (b^2 - a^2) \dots \dots \dots (4)$$

Uzunluğu h ve kütle yoğunluğu ρ olan bir volan için, atalet momenti hesabı Denklem 5'te verilmiştir.

$$J = \frac{1}{2} \pi \rho h (b^4 - a^4) \dots \dots \dots (5)$$

Denklem 1,2,3, ve 4'ten aşağıda verilen Denklem 6 elde edilmektedir.

$$E = \frac{1}{4} \pi \rho h \omega^2 (b^4 - a^4) \dots \dots \dots (6)$$

Bir volanın çalışabileceği maksimum hız sınırı, rotor malzemesinin dayanımına bağlıdır. Buna çekme dayanımı denir. Rotorun üzerine gelen basıncı, rotor malzemesinin dayanma gücünün altında tutmak için uygun bir güvenlik değeri hesaplanmalıdır. İnce dönen bir halkanın maksimum gerilmesi Denklem 7'deki gibi hesaplanır.

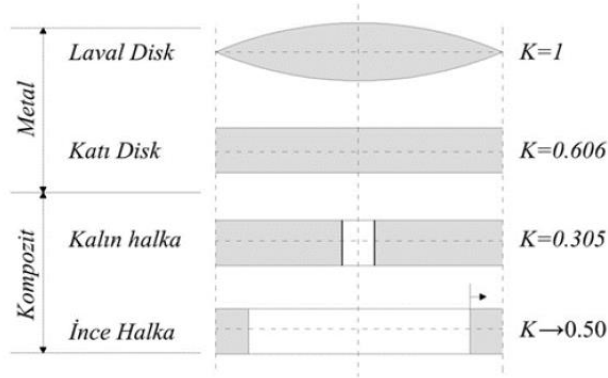
$$\sigma_{max} = \rho r^2 \omega^2 \dots\dots\dots (7)$$

σ maksimum gerilme ve ρ volan malzemesinin yoğunluğunu temsil eder. Denklem 7'den de görülebileceği gibi, maksimum gerilme ρ ve açısal hızın karesiyle orantılıdır. Rotor geometrilerinin etkisi, şekil faktörü K değerinin hesaba katılmasıyla belirlenebilir. Daha sonra maksimum spesifik enerji ve enerji yoğunluğu Denklem 8 ve 9'da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$E/m = K \sigma_{max} / \rho [J/kg] \dots\dots\dots (8)$$

$$E/V = K \sigma_{max} [J/kg] \dots\dots\dots (9)$$

Denklemler 8 ve 9 spesifik enerjinin (kütle birimi başına enerji) ve volanın enerji yoğunluğunun, şekil faktörü K olarak ifade edilen şekline bağlı olduğunu göstermektedir. Volanın şekli, volanın belirlenmesi için önemli bir faktördür. Şekil faktörü K, volan malzeme kullanımının bir ölçümüdür. Şekil 3'de, en yaygın volan geometrisi tipleri için K'yi göstermektedir (Uykız,32-38).



Şekil 3. Farklı volan kesitleri

Denklem 1'e göre, bir volanın depolanan enerjisi eğirme hızını (w) artırarak veya atalet momentini (J) artırarak optimize edilebilir. Bu VEDS için iki seçeneğe izin verir: düşük hızlı VEDS (tipik olarak 10.000 d/dk 'ye kadar) ve yüksek hızlı VEDS (100.000 d/dk 'ye kadar). Düşük hızlı çarklar genellikle daha ağır olan metal malzemelerden yapılırlar. Mekanik veya manyetik rulmanlar tarafından desteklenir. Yüksek hızlı çarklar genellikle daha hafif ve güçlü kompozit malzemeler kullanılır. Yüksek hızda çalışan çarkların maliyeti düşük hızda çalışan çarkların maliyetinden yaklaşık beş kat daha yüksek olabilir. Çark sisteminin maliyeti rotordan değil tüm sistemin tasarımından etkilendiği söylenebilir (Uykız,32-38).

Yüksek hızlı VEDS'ler sabit mıknatıslı elektrik makinelerinde kullanılırlar. Manyetik rulman yapısına sahiptir. Yapımı karmaşık yüksek maliyetlidir. Volan malzemesi olarak kompozit malzemeler kullanılırlar. Vakum ortamı mutlaka gereklidir. Volan da kullanılan malzeme VEDS'de maksimum hızda belirleyicidir. Volanda yüksek hızlarda büyük merkezkaç kuvvetleri oluşur. Malzemenin sertlik derecesi de bu kuvvetlere dayanacak yükseklikte olmalıdır. Bu sebeple yüksek hızlı volalarda karbon elyaf içerikli kompozit malzemeler kullanılırlar. Yüksek hızlı VEDS'lerin enerji yoğunluğu 100 Wh/kg'a ulaşabilmektedir. Bu sistemler 50000d/dk dönme hızlarına sahiptirler. Boyut ve ağırlığın belirleyici olduğu elektrikli araçlar ve buna benzer alanlarda kullanılırlar. Düşük hızlı VEDS'ler sabit mıknatıslı elektrik makinelerde ve asenkron makinelerde kullanılırlar. Mekanik veya manyetik rulman yapısına sahiptir. Yapımı daha az kontrole gerek duyan düşük maliyetli sistemdir. Volan malzemesi olarak çelik ve alüminyum kullanılırlar. Vakumlu olması zorunlu değildir. Düşük hızlı VEDS'lerin enerji yoğunluğu 5 Wh/kg'a kadar ulaşabilmektedir. Bu sistemler 7000 d/dk dönme hızında çalışırlar.

6.2. Elektrikli makine

Elde edilen enerji, volanın içinde depolanır. Volanın şarj edilmesi ve boşaltılması için bir elektrikli makineye bağlanması gerekmektedir. Volan şarj edilirken makine volanı hızlandırır ve enerji çekildiğinde makine volanı yavaşlatır. Böylece elektrikli makinenin hem motor hem de jeneratör olarak çalışabilmesi lazımdır. Makinenin karşılaması gereken temel tasarım kriterleri arasında yüksek verimlilik, yüksek güç yoğunluğu, düşük rölanje kayıpları ve düşük rotor kayıpları bulunur. Yüksek verimlilik, VEDS'in etkili bir enerji depolama sistemi olması için önem arz etmektedir. Çoğu VEDS



vakumda çalıştığından ve ısının kaldırılmasının sınırlı olması nedeniyle düşük rotor kayıpları kritik öneme sahiptir. Uzun süre enerji depolanması için düşük rölanti veya bekleme kayıpları istenmektedir (Uykız,32-38).

6.3. Yatak

Rotor, rulmanlar tarafından desteklenmelidir. Rulmanlar sürtünmeyi en aza indirir ve rotoru yerinde tutar. Modern volan tasarımlarının çoğunda yüksek hız istenmektedir. Volan sistemini verimli bir şekilde çalıştırmak için, rulmanlar düşük kayıplara sahip olmalıdır. Mekanik rulmanlar, 20000 d/dk altındaki hızlarda VEDS için en iyi seçimdir ve 40000 d/dk üzerindeki hızlarda manyetik rulmanlar tek seçenektir. Mekanik rulmanlar basit uygulama, düşük başlangıç maliyeti ve nispeten yüksek sürtünme sunar. Yağlama ihtiyacı olan bu bu tip rulmanlar yüksek hızlı volan sistemleri için uygun değildir. Yüksek hızlı volan, düşük basınçlı bir ortamda çalıştırılır. Bu nedenle mekanik rulmanların yağlanması zor olmaktadır.

Manyetik rulmanlar rotor veya şaftla temas halinde değildir. Düşük kayıplar, uzun ömür ve yağlama gerektirmez. Bu özellikler manyetik yatağı yüksek hızlı volan sistemlerinde kullanım için uygun hale getirir. Temel olarak, manyetik bir yatak volanın kütlelerini kaldıran sabit mıknatıslardan ve volan rotorunu radyal olarak stabilize eden kontrollü elektromıknatıslardan oluşur. Dengeleme, pahalı sensörlere sahip karmaşık bir kontrol sistemi gerektirir. Bazı sistemlerde hem mekanik hem de manyetik yatakların bir kombinasyonu kullanılır (Uykız,32-38).

6.4. Muhafaza

Muhafazanın iki amacı vardır. Bunlar; düşük gaz sürtünmesini sağlamak ve bir arıza durumu cereyan ettiğinde rotorun dönmeye devam etmesi için bir ortam yaratmaktır. Bir VEDS'teki aerodinamik sürüklenme kaybı, sistem atmosferik basınçta çalıştırılırsa, dönme hızının küpü ile artar. Bu performans, sistemin performansını ve güvenliğini arttırmak için döner çarkı vakumlu bir muhafaza içine monte ederek azaltılır. Muhafaza, çarkın hareketsiz bir parçasıdır ve genellikle kalın çelikten veya kompozitler gibi diğer yüksek mukavemetli malzemelerden yapılmıştır. Konteyner, cihazın içindeki düşük basıncı koruyarak rotor aerodinamik sürtünme kayıplarını kontrol etmek için rotoru bir vakum içinde tutar. Sistemi düşük bir basınçta çalıştırmak için bir vakum pompası ve verimli bir soğutma sistemi gerekir. Elektrikli bir makine vasıtasıyla güç tekerleğini kapatıp açarken döner contalar yoktur. Bu nedenle sızıntı çok küçük olabilir. Bu vakum pompasının sık çalışmak zorunda olmadığı veya muhafazanın yeterli bir şekilde sızdırmazlığı ile ortadan kaldırılabileceği anlamına gelir. Vakum pompasının çalışması rotor tipine bağlıdır. Kompozit rotorlar, düşük vakum basınçlarına ve gaz çıkışı gerektiren çok yüksek bir uç hızına sahiptir. Alternatif bir yaklaşım hem aerodinamik sürüklenme kaybını hem de sistem soğutma gereksinimlerini azaltan bir helyum ve hava gaz karışımı kullanmaktır. VEDS'in en önemli parametrelerinden biri verimliliğidir. Aerodinamik sürüklenme kaybı, toplam kayıplara büyük ölçüde katkıda bulunur. Atmosfer basıncında yüksek hızlı bir volan kullanılırsa kayıplar önemli olacaktır. Bu nedenle, bu kayıpların azaltılması, toplam sistem verimliliğinin toplam kayıplarını azaltmanın etkili bir yoludur. Aerodinamik olarak sürtünme kaybını azaltmak için bir çözüm, volanı bir vakum mahfazasına monte etmektir. Bu, hava sürüklenmesini ortadan kaldırır ve böylece kayıpları azaltır. Bununla birlikte, sisteme karmaşıklık kazandırır (Uykız,32-38).

6.5. Güç elektroniği

Modern VEDS'te güç elektroniği sistemin en önemli parçasıdır. Elektrik makinesi için bir kontrol arayüzü ve güç aktarımı için de bir arayüz sağlar. Güç elektroniği arabirimi genellikle iki yönlü bir çevirici ve değişken hızlı bir sürücüdür oluşur. VEDS'i bir AC ızgarasına bağlamak için başka bir iki yönlü dönüştürücü gerekir. Yani dönüştürücü tek kademeli (AC-DC) veya çift kademeli (AC-DC-AC) olabilir. Jeneratör yavaşlarken, jeneratör frekansı azalan AC akımı üretecektir. Bu nedenle, AC akımını sabit bir frekansa dönüştürmek gerekir; bu güç elektronik arayüzü tarafından yapılır. VEDS uygulamasının gerekliliklerine bağlı olarak, dönüştürücülerin denetleyici çalışması değişebilir. Bir AC şebekesiyle birbirine bağlanmış bir VEDS için, hem aktif hem de reaktif gücün kontrolüne ihtiyaç duyulabilir.

7. Volanlı Enerji Depolama Sistemlerinde Kapasite Aralığı

Bir VEDS'in gücü ve enerji kapasitesi söz konusu olduğunda bunların tamamen ayrıldığını belirtmek önemlidir. Volanın özgül enerjisi dört mekanik parametre ile belirlenir. Bunlar; şekil, malzemenin gücü, kütle yoğunluğu ve açısal hızıdır. Elektrikli makine ve güç elektroniği bu parametrelere dahil değildir ve bu nedenle volanda depolanan enerji miktarını etkilemez. Bununla birlikte, elektrikli makinenin rotoru, depolanan enerjinin toplam miktarına katkıda bulunur. Ayrıca, sistemin güç seviyesi esas olarak elektrikli makinenin özelliklerine ve güç elektronik arayüzüne bağlıdır. Bu nedenle, sistemlerin enerji depolama kapasitesi mekanik özelliklerle sınırlıdır. Güç kapasitesi sınırı, elektrikli makine ve güç elektroniği tarafından belirlenir. 138 kWh'ye kadar depolama kapasitesine sahip volanlar mevcuttur. Depolama ve güç yeteneklerini arttırmak için birkaç volan ünitesinin paralel veya seri olarak bağlanabileceği belirtilmelidir (Uykız,32-38).

8. Volanlı Enerji Depolama Sistemlerinde Çevre Sorunları



VEDS'te kullanılan malzemeler genellikle tehlikesizdir. Kullanılan malzemeler esas olarak; kompozit lifler (karbon, cam ve epoksi lifler), çelik, bakır, alüminyum, silikon ve nadir toprak magnetikleridir. Normal işletimde sifıra yakın emisyon vardır. Düzgün bir şekilde kullanıldığı takdirde, kullanılan tüm malzemeler kullanım ömrünün sonunda geri döndürülebilir (İbrahim, 1236).

9. Sonuç

Volanlarda depolanan enerji verimi ve miktarı konusundaki en önemli parametre dönme hızlarıdır. Dönme hızı ne kadar yüksek olursa volanın performansı da o kadar yüksek olur. Haliyle volan malzemesi seçiminde bu durumun göz önünde bulundurulması önem taşımaktadır. Volanların yapıldığı malzeme gerek mekanik olarak tok, gerekse depolanan elektrik enerjisine dayanıklı olmalıdır.

Doğru malzeme seçimi bu sistemlerin verimini ciddi manada arttıracaktır. Volanlı enerji depolama sistemleri en fazla 20 MW gücünde kurulabilmektedir. Bu sistemlerin kurulum maliyetleri 189,94\$/MWh civarındadır (Rahman, 7). Diğer enerji depolama sistemlerinin kurulum maliyetleri ile karşılaştırma yapıldığı takdirde, diğerlerine nazaran bu sistemlerin daha ucuz olduğu görülecektir. Volanlarda depolanan enerjinin deşarj olma süresi diğer depolama türlerine göre daha kısa sürer. Bu süre 4-6 dakika arasında değişmektedir. Bu sebeple volanlar kısa süreli güç kaynağı olarak kullanılmanın ötesine geçememektedir. Bunun yanı sıra volanlı enerji depolama sistemlerinde çok sayıda komponent kullanılması ve bunların belirli aralıklarla bakıma ihtiyaç duyması olumsuz özelliklerindedir (Erdoğan, 119). Ayrıca yüksek gerilime dayanmadığı zamanlardaki infilak etme riski de göz ardı edilemeyecek bir olumsuzluktur. Ancak volanların uzun yıllardan beri kullanılmasından kaynaklanan tecrübe ve enerji depolama sistemlerinin uzun süre dayanıklı olması avantajlarındandır. Volanların kullanımı endüstriyel açıdan son derece önem arz etmektedir. Otomobiller ve vinçlerde kısa sürede büyük güçlerin üretilmesi ve tüketilmesine uygun sistemlerdir. Ancak büyük miktarlarda enerji gereken uygulamalarda çok kullanışlı değildir. Endüstride sürekli güç kaynağı gereken yerlerde hızlı kullanıma uygun oldukları için volanlar tercih edilmektedir.

Kaynaklar

- 1- Aljohani M. (2014) The Flywheel Energy Storage System: A Conceptual Study, Design, and Applications in Modern Power Systems, International Journal of Electrical Energy, 2 (2), 146-153.
- 2- Cabeza L., Martorell I., Miro L., Fernandez I., Barreneche C. (2015) Introduction to thermal energy storage (TES) systems, Advances in Thermal Energy Storage Systems Methods and Applications, 1-28.
- 3- Emeksiz C., Kara B. (2022) Enerji Depolama Teknolojilerinin İncelenmesi ve Karşılaştırmalı Analizi, International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, 6(2), 134-142.
- 4- Erdoğan O., Uzunoğlu M., Vural B. (2011) Hibrit Alternatif Enerji Sistemlerinde Kullanılan Enerji Depolama Üniteleri, Elektrik Mühendisleri Odası Elektrik-Elektronik Sempozyumu, 116-121.
- 5- Hadjipaschalis I., Poullikkas A., Efthimiou V. (2009) Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(6-7), 1513-1522.
- 6- İbrahim H., Ilinca A., Perron J. (2008) Energy storage systems-Characteristics and Comparisons, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 12(5), 1221-1250.
- 7- Kozak M., Kozak Ş. (2012) Enerji Depolama Yöntemleri, SDU International Technologic Science, 4 (2), 17-29.
- 8- Rahman M, Gemechu E., Oni A., Kumar A. (2021) The development of a techno-economic model for the assessment of the cost of flywheel energy storage systems for utility-scale stationary applications, Sustainable Energy Technologies and Assessments, 47, 101382.
- 9- Sarı A. (2006) Düşük Kayıplı Manyetik Yataklamalı Volan Enerji Depolama Sistemlerinin H-Infinity Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze
- 10- Uykız H. (2019) Volanlı Enerji Depolama Sistemleri İçin İki Kademeli Alternatör Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- 11- Ünver Ü., Bilgin H., Güven A. (2015) Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Sistemler, Mühendis ve Makina, 56 (663), 57-64.
- 12- Yılmazoğlu Z. (2010) Isı Enerjisi Depolama Yöntemleri ve Binalarda Uygulanması, Politeknik Dergi, vol. 13(1), 33-42.



TERMAL DEPOLAMA YÖNTEMLERİ

Cemil Koyunoğlu, Dr. Öğr. Üyesi^{1,2}, Kemal Taner, Prof. Dr^{2,3}

¹Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çınarcık Yolu Üzeri 5. km, 77200, Yalova, Yalova Üniversitesi

²MMO Enerji Komisyonu Üyesi, İstanbul Şube, Katip Mustafa Çelebi Mah. İpek Sk. No:9 34433 Beyoğlu, İstanbul

³Arel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kemal Gözükara Tepekent Yerleşkesi, İstanbul

Özet

Termal enerji depolama, enerji verimliliğini arttırmak için etkili bir yoldur. Termal enerji, yoğunluklu saatlerde talep ve enerji maliyetlerinin en yüksek olduğu zamanlarda kullanılmak üzere düşük saatlerde depolanabilir. Bu, genel enerji tüketimini azaltabilir ve enerji faturalarında tasarruf sağlayabilir. Faz değiştirme malzemeleri, pompa destekli termal enerji depolama ve buz depolama sistemleri gibi birçok farklı termal enerji depolama sistemi mevcuttur.

Anahtar kelimeler: Termal enerji depolama, enerji verimliliği, düşük saatler, yoğun saatler, enerji tüketimi, enerji maliyetleri, faz değiştirme malzemeleri, pompa destekli termal enerji depolama, buz depolama sistemleri.

İngilizce Özet

Thermal energy storage is an effective way to increase energy efficiency. Thermal energy can be stored during off-peak hours to be used during peak hours when demand and energy costs are highest. This can help reduce overall energy consumption and save money on energy bills. There are many different types of thermal energy storage systems available, including phase change materials, pumped thermal energy storage, and ice storage systems.

Keywords: Keywords: Thermal energy storage, energy efficiency, off-peak hours, peak hours, energy consumption, energy costs, phase change materials, pumped thermal energy storage, ice storage systems.

1. GİRİŞ

1.1. Termal İzolasyonun Tanımı

Termal izolasyon, sıcaklık transferini engelleyen bir malzeme kullanarak bir yapının veya cihazın içindeki sıcaklığı korumak veya kontrol etmek için kullanılan bir tekniktir. Bu teknik, ısıtma ve soğutma maliyetlerini azaltırken enerji tasarrufu sağlar. Termal izolasyon malzemeleri, ısıyı engelleyen veya yavaşlatan malzemelerdir ve cam elyafı, mineral yün, polistiren, poliüretan, selüloz, kaya yünü, aerogel ve diğerleri gibi çeşitli malzemelerden yapılabilir ¹.

1.2. Depolamanın Tanımı

Termal depolama, enerjinin depolanması ve kullanımının optimize edilmesi için kullanılan bir teknolojidir. Bu teknoloji, sıcaklık farklarına dayalı olarak enerji depolar ve daha sonra bu enerjinin ihtiyaç duyulduğu zamanlarda kullanılmasını sağlar. Termal depolama, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin depolanması ve kullanımının düzenlenmesinde önemli bir rol oynar. Ayrıca, termal depolama sistemleri, enerji tüketimini azaltarak enerji verimliliğini artırabilir ve enerji maliyetlerini düşürebilir ²⁻⁵.

2. DEPOLAMA

2.1. Depolamanın Önemi

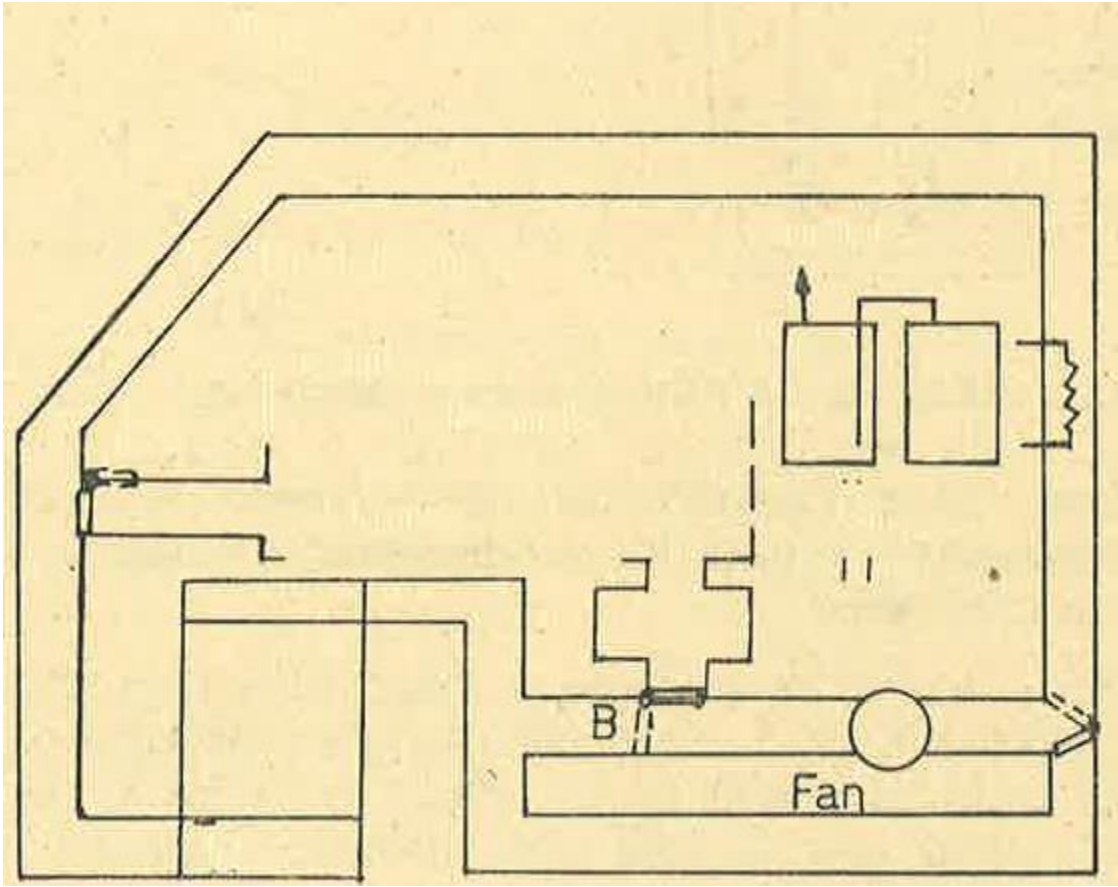
Termal depolama, enerjinin depolanmasına ve daha sonra ihtiyaç duyulduğunda kullanılmasına olanak tanıyan bir teknolojidir. Bu teknoloji, yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin verimli bir şekilde kullanımını sağlar. Örneğin, güneş enerjisi panelleri veya rüzgar türbinleri ile elektrik üretildiğinde, bu enerjinin anında tüketilmesi mümkün olmayabilir. Termal depolama, bu enerjinin depolanarak ihtiyaç duyulduğunda kullanılmasına olanak tanır.

Ayrıca, termal depolama, enerji talebinin en yüksek olduğu saatlerde elektrik şebekelerine yüksek talep nedeniyle karşılaşılan zorlukları da azaltabilir. Elektrik şebekeleri, yüksek talep nedeniyle aşırı yüklenir ve çökmelerine neden olabilir. Termal depolama, bu zamanlarda depolanan enerjinin kullanılmasıyla talebin düşürülmesine yardımcı olur.

Sonuç olarak, termal depolama, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli bir şekilde kullanımını sağlar ve enerji talebinin dengelenmesine yardımcı olur ^{6,7}.

3. ÖRNEK UYGULAMA

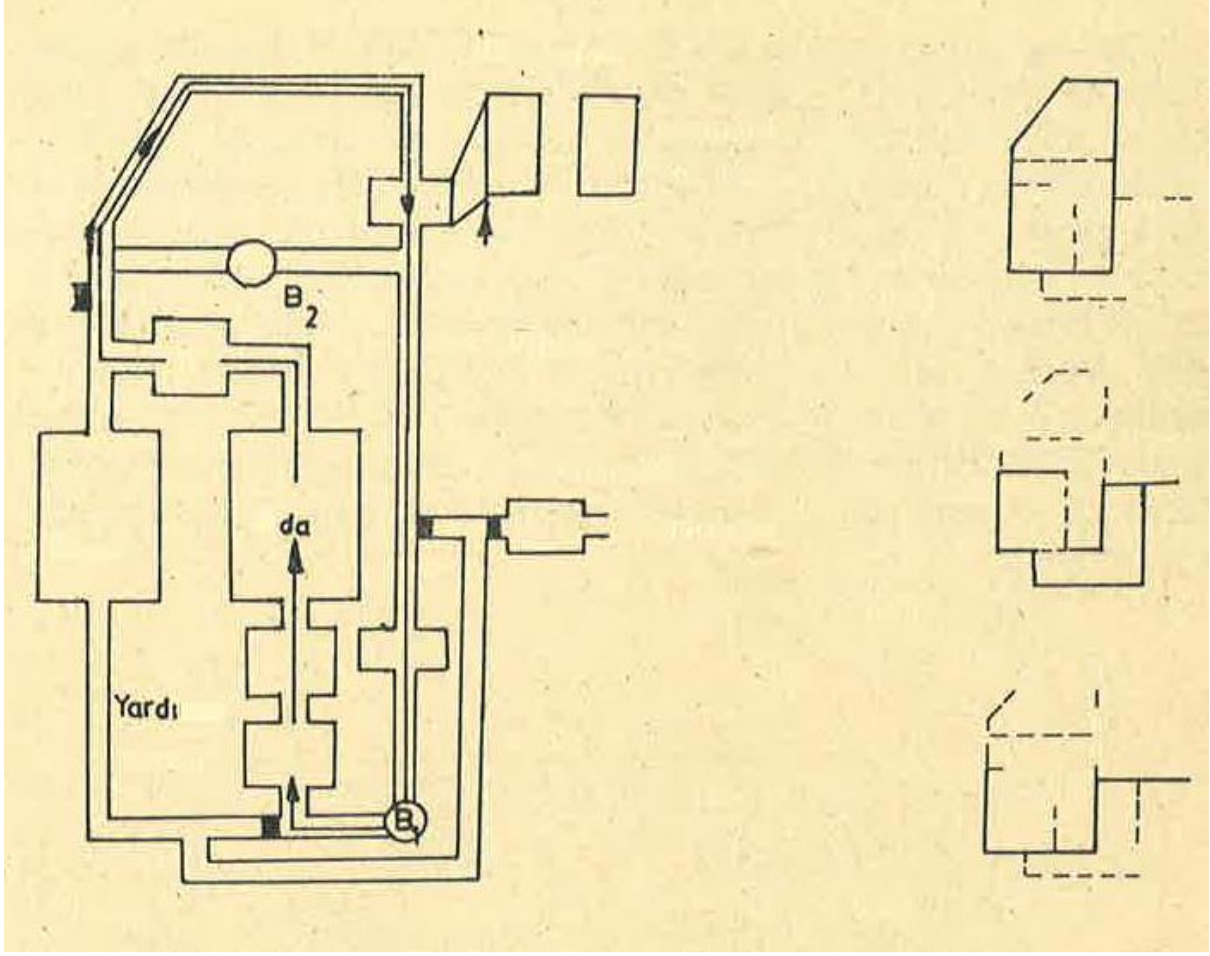
Denver güneş evinde, Colorado state üniversite güneş evlerine havalı bir sistem yapılmıştır. Isıtmaya ihtiyaç duyulduğunda ve güneş de var ise, oda sıcaklığına hava, kollektörlerden dolaştırılarak ısıtılır ve binaya geri gönderilir. Isıtmaya gerek yok fakat güneş var ise hava çakıllardan geçerek uyulur ısı depolaması yapar. Eğer güneş enerjisi yok, mahal ısıtma var ise sıcak hava depo üzerinden eve gönderilir, oda sıcaklığına hava deponun altından girer. Güneş enerjisi yetmediği hallerde yardımcı enerjiye ihtiyaç varır. Sisteme toç-tın > 5 oluşuna kollektör çalışır, aksi hale durur. Amperler motorizedir. Kollektör çalıştığında A amperi şekilde dolu çizgi ile gösteriliği pozisyonundadır.



Şekil 1. Denver Güneş evinin ısıtma tesisat şeması.

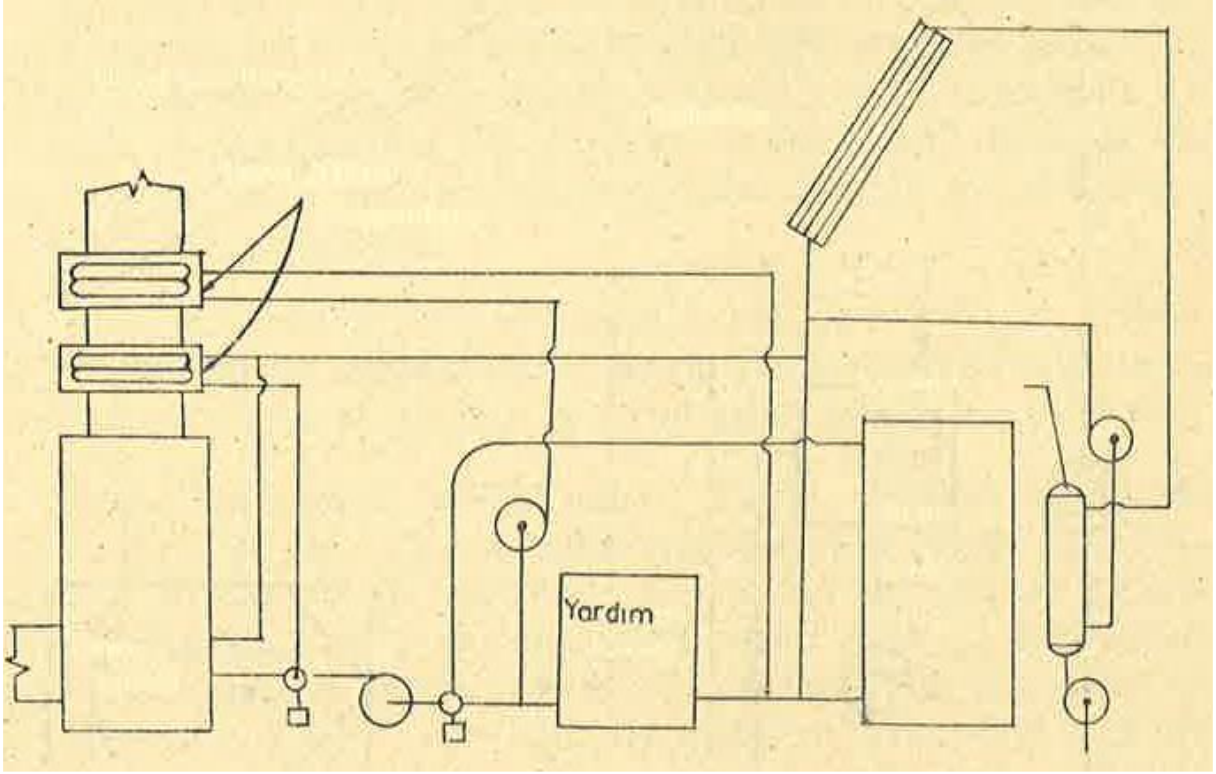
Diğer bir havalı aktif sistem şeması ve çalışma metotları Şekil 1.a- 1d de çizilmiştir.

(a) Modu: Güneşli periyot da, ısıtma ihtiyacı oluşunda bina direkt kollektörden ısıtılır. Kollektördeki hava sıcaklığı öğleyin 40 oC olmaktadır. Sıcak su eşanjörü kollektör ile seri olarak bağlanmıştır. Sıcak hava, kollektörden dağıtıldığında ön ısıtılmış su elde edilir.



Şekil 2. Havalı Aktif Sistem ve Metodları.

- (b) Modu: Isı depolanmaktadır. Güneş enerjisi ile ısıtılan hava çakıl deposundan geçirilir. Bu esnada soğuk hava tekrar ısıtılmak için kollektöre döner.
- (c) Modu: Akşam ve geceleyin binadan gelen devridaim havası ile ısı, depodan dağıtılır. Isı talebini karşılamada kollektörden ve depodan gelen hava sıcaklığı çok düşük ve ısı çok az ise, sistem otomatik olarak elektrik veya yakıt ısısından faydalanılarak yardımcı ısı sağlanır.
- (d) Modu: Soğuk gece havası yaz gün saatlerinde, evaporatif soğutucudan geçirilerek kullanılacak şekilde dizayn edilmiştir. Soğuk çakıl taşı depoda depo edilir. Mahal gün boyunca ısınınca, hava soğuk çakıl deposundan geçirilir (c Modundaki) gibi odalara verilir. Bu tip soğutma günlük sıcaklık farkları epeyce büyük olan ve yaş termometre sıcaklıkları düşük olan yerlerde iyi bir çalışma performansı gösterir.
- Isı transfer akışkanı (sıvı) su olan aktif bir sisteme örnek olarak C.S.U. Güneş evi I deki tesisat gösterilebilir, Şekil 3.



Şekil 3 Sıvılı Aktif Sistem.

Bu sistemde kollektör; Alüminyum absorbe edici levhalar, ısı taşıyan borular, iki tabaka cam, fiberglas izolasyondan meydana gelmiştir. Debi 0,015 lt/m² .sn dir. Kollektördeki ısı boru-levha tip eşanjör ile su deposuna giden 4165 lt suyu ısıtır. Sıcak su kışın, havayı serpantin ile ısıtır. Yazın soğutma için Lityum-Bromid absorpsiyon sisteminin jeneratörü ve sıcak su elde edilmesinde ısı değiştirgecidir. Gaz yakan kazan da su ısıtılmasında yardımcı olmaktadır. E.E. Adsett, A.W. Gunn, V.M. Ireton sıvılı sistem ile ticari binaların ısıtılması ve soğutulması dizayn edilmiştir. Şekil 4'te tesisat şeması görülmektedir.

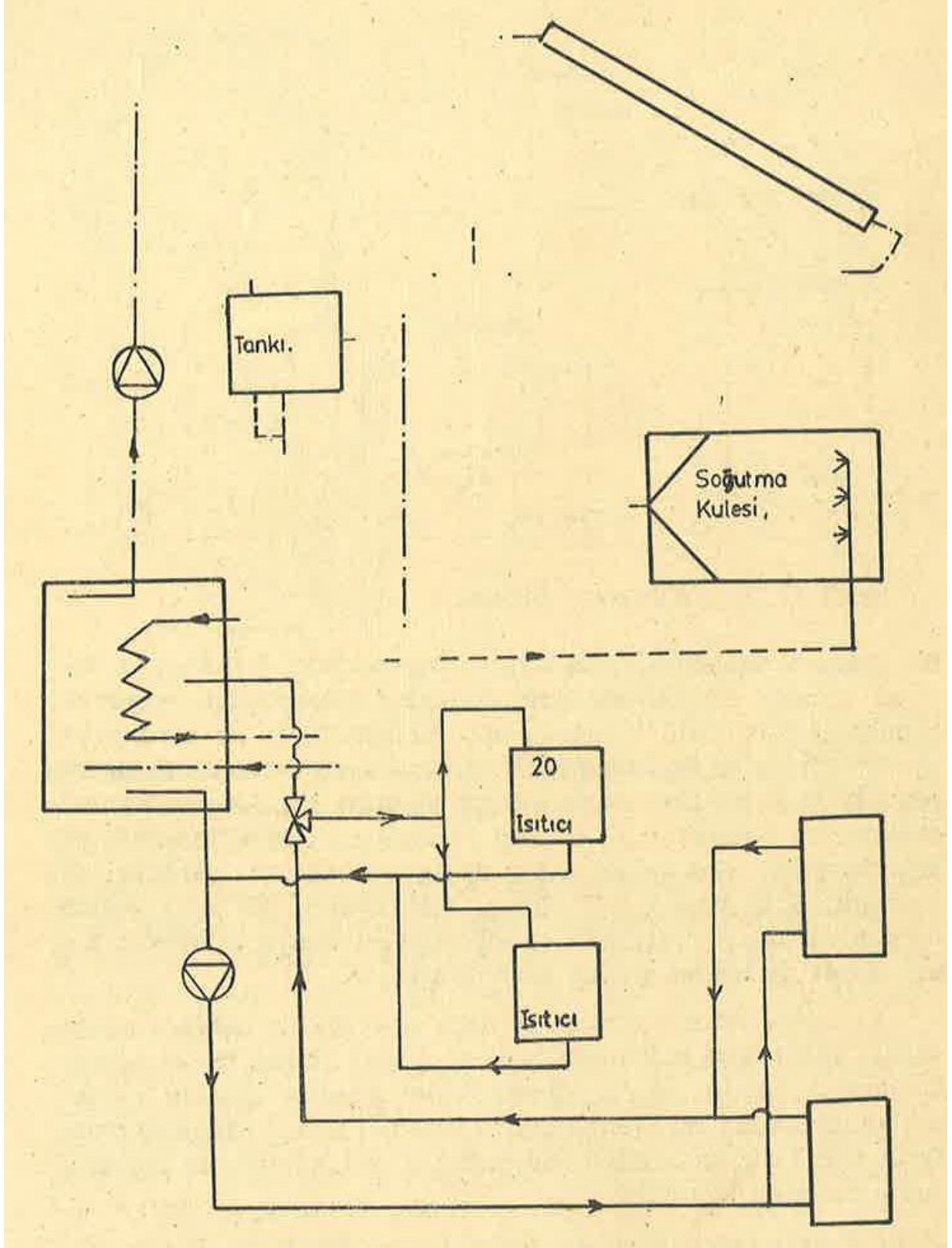
Kollektör levha sıcaklığı, su depo sıcaklığının üstünde ise su sirküle edilir, aksi halde sirkülasyon pompası durur. Kollektördeki su depoya başalır, paralel olarak kendi kendine boşalan valfler kullanılmaktadır. Su drenajına izin verildiği için: 15-20 misli daha fazla enerji kullanılabilir. Suya Nutek 876 Alüminyum korozyonunu önlemek için eklenir.

Soğutma kulesi sistemi fazla ısıyı depodan çıkarmak için kullanılır. 21 °C'den 5 °C sıcaklık farkı için soğutma kulesi devridaim pompası çalışmaya başlayacaktır. Depo sıcaklığı ayarlanan sıcaklığa düşüncü pompa duracak, donmayı önlemek için sistem boşalacaktır.

Isı pompası sistemi, her katta ayrı kullanılır. Isı depodan alınır veya depoya verilir. Isı değiştirgecinden geçirilir, mahal ısı pompasının diğer tarafında yer alan havanın sirkülasyonu ile ısıtılmakta veya soğutulmaktadır. Depo sıcaklığı arttırılincaya kadar elektrik rezistanlı ısıtıcılardan alınan enerjinin depoya gitmesine müsaade edilmez.

Hava sisteminde gidiş ve dönüş kanalları her bir ısı pompasına bağlanmıştır. Egzost havası kayıp ısı değiştirgecinden geçer ve yaklaşık olarak enerjisinin %65'ini gelen havaya transfer eder.

Diğer bir komple sistem şeması T.R.W. grubu tarafından N.S.F./R.A./N-74-022 A için dizayn edilmiştir. Şekil 5. Kontrol cihazını el ile çevirerek, sistem ısıtma yapacak şekilde çalıştırılabilir. Seçilen çalışma şekline göre sıcak su dağıtılmaktadır. Isıtma çalışmasında kontrol cihazından gelen sinyallere göre bileşenleri bağlayacaktır. Eğer sıvı yardımcı ısıtıcı HW-2 den akar ise, kanaldan fazla sıcak hava geçer. 160 oC'ye ayar edilmiştir. Soğutma halinde iki yol ile çalışır, ya klima cihazı ilk olarak güneş enerji sistemi ile yüklenir, yahut tamamen yardımcı ısıtıcıdan yüklenir.

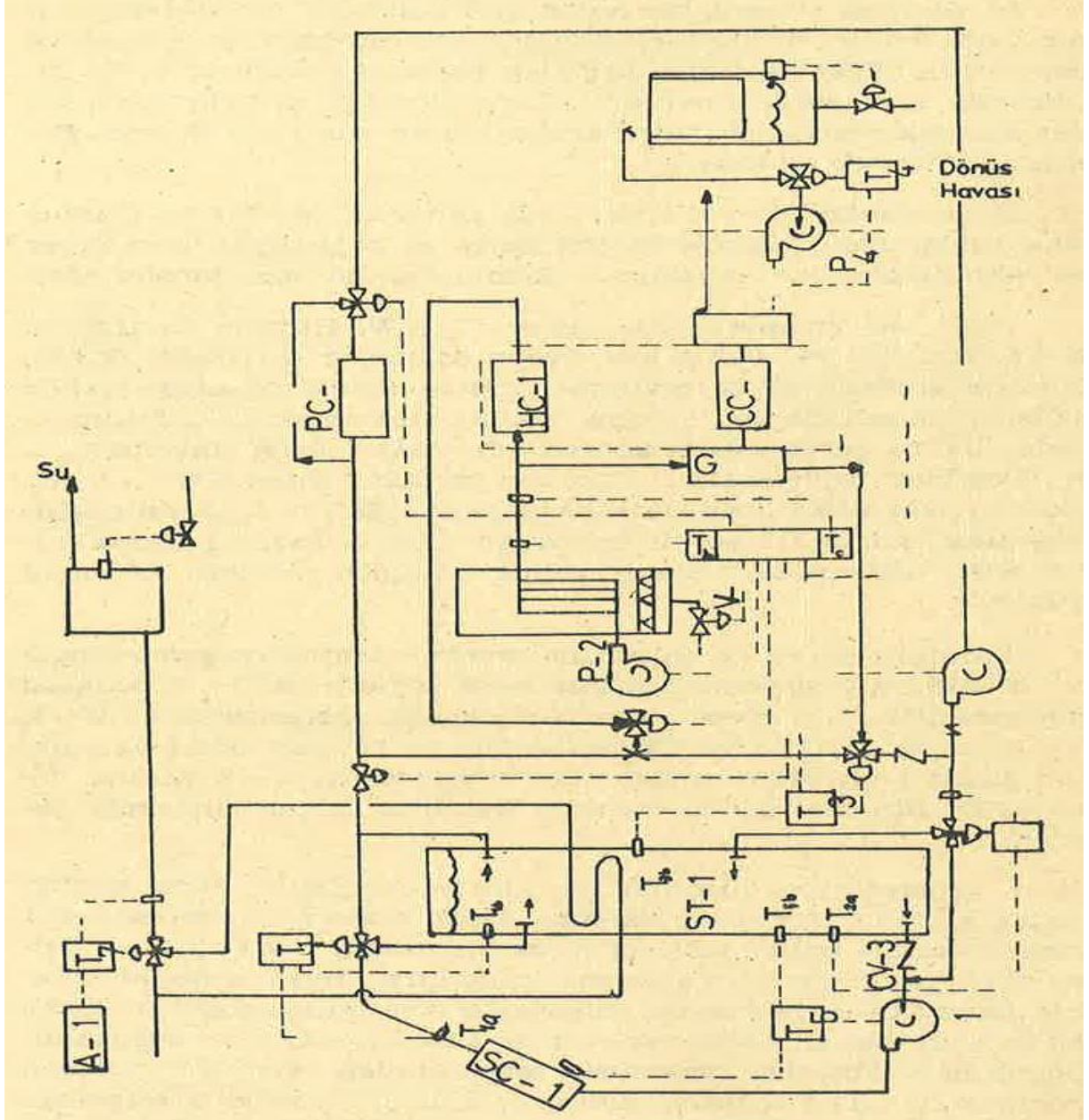


Şekil 4. Sıvılı sistemde ticari bina için ısıtma ve soğutma tesisat şeması.

Yardımcı enerji ile çalışmada, kontrol ünitesinden gelen sinyal V-6 valfinin pozisyonunu değiştirecek böylece sıvı P-2 pompası boyunca HW- yardımcı ısıtıcıdan geçerek, serpantinden G-1, V-3 valfindan (T3a ve T3b sensörleri T6

kontrolleri ile yapılan sıcaklık ölçmeleri pozisyonları değişecektir, V-6 valfına dönecektir. Binadan dönen havanın soğuması klima cihazında yapılır.

G-21 jeneratörüne lüzumlu ısı, güneş enerjisinin suya verdiği ısıdan sağlanır. Soğutucu akışkan, alçak basınçta buharlaşır. C-1 kondenserinde buhar yoğunlaşır alçak sıcaklıklarda (90 oF) CC-1 orifisinden geçerek soğutma serpatinine girer. Hava akımındaki sıcak hava CC-1 deki sıvıyı buharlaştırır ve binayı soğutur. Alçak basınçtaki buhar Li-Br tarafından absorbe edilir ve soğutulur. Soğuk hava absorber tarafından serpantinden devrettirilerek P-4 pompası ile CT-1 soğutma kulesine, kondenser etrafında serpantin boyunca akışı zorlayarak bu iş gerçekleştirilir. CT-1 soğutma kulesi buharlaşma ve ters akımlı cebri hava konveksiyonu ile su soğutulur. Soğutma suyu toplam olarak kule temelinde toplanır.



Şekil 5. Komple devre (Su ısıtma, Mahal ısıtma ve Soğutma).

Buharlaşmada su kaybı otomatik olarak ana su kaynağından tamamlanır. Soğutucu sıcaklığı ve jeneratöre verilen sıvı, bu şartlar altında uygulanabilen maksimum soğutma şiddetini tayin eder. Jeneratöre verilmesi lazım gelen ısı, talep edilen soğutma yükünün 0,65 olan performans katsayısına bölünmesi ile elde edilen sayıya eşittir.



Sistem yalnız güneş enerjisinden elde edilen güç ile çalıştığı zaman, klima cihazı yukarıda açıklandığı gibi çalışır. Fakat termal gücünü güneş kollektörü ve depodan alır. Bu halde sıvı V-10 valfi boyunca, V-6 ve g-1 jeneratörü boyunca akar, Bu sıvı V-3 valfi boyunca ya depodan yahut P-1 pompası ile kollektöre döner. V-8 için daha önce anlatılanların aynısı söylenebilir.

4.1. Bina Isı Yükünün, Güneş Enerjisi İle Karşılanan Kısımının Hesap Metotları

Herhangi bir güneş enerjisi ile ısıtma sistem dizaynında, püf noktası, çeşitli boyutlarda ve şekillerde tesisattan elde edilecek ortalama faydalı enerjinin tayinidir. Hesabı el ile veya bir bilgisayar ile yapılmaktadır. Bununla beraber çoğu mimarlar ve mühendisler dizayn esnasında bilgisayar kullanmazlar, dolayısı ile dağıtılacak enerjinin hesabında el ile yapılabilecek doğru bir metod gereklidir. Bu güneş enerjisi ile ısıtma sistemlerinde dizayn için elverişli ve doğru hesap "fs" diyagramlarını oluşturmuştur. Şekil 6 da sulu sistem diyagramları oluşturulmuştur. Sulu sistem hesabında kullanılan bir "fs" diyagramı görülmektedir. Ayrıca havalı sistemler için de bu diyagramlardan çeşitli kaynaklarda bulunabilir.

Bir "fs" diyagramında fs "Aylık yükün yüzdesi" iki parametreye bağlı olarak verilmiştir. Bunlar boyutsuz sayılardır. Bunlardan D1 "Güneş enerjisi parametresi" D2 ise "Kayıp parametresi" diye adlandırılırlar. D1 ve D2'nin ifadeleri aşağıdaki gibidir.

$$D1 = \frac{F_T \cdot A_k \cdot S_G \cdot (\bar{T}_G)}{F_Y} \cdot \mu^4$$

$$D2 = \frac{F_T \cdot A_k \cdot U_L \cdot (T_T - T_0) \Delta t_{zaman}}{F_Y} \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3$$

Mahal ısıtma içi talep edilen güneş kollektörlerinin boyutlarının hesabı için basit bir metod daha vardır. Bunun için güneş enerjisi ile ısıtma sisteminin yerleştirildiği yerdeki, ısıtma derece gün, yatay yüzeyde toplanan toplam güneş enerjisi radyasyon verisi gereklidir.

$$\xi = \frac{H_{TY}}{\cos(\theta - \delta_0)}$$

olmak üzere,

$$H_{te} = \frac{1,025 \xi - 8200}{0,088}$$

$$\text{Güneş enerjisi yük oranı (GEYO)} = \frac{\text{Düşen Güneş enerjisi}}{\text{Bina ısı yükü}} = \frac{A_k H_{TE}}{U_T \cdot DG}$$

GEYO parametresi ile ξ senelik güneş enerjisi ısıtma kesri,

$$\text{GEYO} < 5,66 \text{ için } \xi = 1,06 - 1,366 e^{-0,55 \text{GEYO}} + 0,306 e^{-1,0,5 \times \text{GEYO}}$$

GEYO > 5,66 için $\xi = 1$ şartları ile bulunur.

Bir bilgisayar programı ile önceki programa girilmiş ve kollektör alanı 10 m²'den 150 m²'ye kadar oran oran artırılarak elde edilen güneş enerjisinden yararlanma oranları bulunmuştur. Yatay yüzeyde toplanan enerji için ortalama değer alınmıştır. Sonuçlar Eskişehir için Ek-1 ve Antalya için Ek-2'de verilmiştir.

5. SONUÇLAR

5.1. Termal İzolasyon ve Depolamanın Önemi

Termal izolasyon ve depolama, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından çok önemlidir. İyi bir termal izolasyon, depolanan enerjinin kaybını önleyebilir ve daha uzun süre depolanmasını sağlayabilir. Ayrıca, termal izolasyon, depolama kapasitesini artırabilir. Bir depolama tankının içinde saklanan sıcak veya soğuk su, iyi bir termal izolasyonla daha uzun süre depolanabilir ve daha fazla enerji depolanabilir. Bu da, enerji tasarrufu ve daha az enerji üretme ihtiyacı anlamına gelir.

Termal depolama, enerjinin yenilenebilir kaynaklardan elde edildiği durumlarda da önemlidir. Örneğin, güneş veya rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, verimli bir şekilde depolanamazsa, enerji kaybına yol açabilir. Bu da, yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyel verimliliğini azaltabilir.



Ayrıca, termal izolasyon ve depolama, enerji maliyetlerini önemli ölçüde azaltabilir. İyi bir termal izolasyon, enerji tasarrufu sağlayarak uzun vadede maliyetleri düşürebilir. Ayrıca, enerjinin depolanması, enerji talebinin düşük olduğu zamanlarda gerçekleştirilebilir ve daha sonra kullanılabilir. Bu, enerji fiyatlarının düşük olduğu zamanlarda enerjinin depolanmasını ve daha sonra kullanılmasını sağlayarak, enerji maliyetlerinin düşürülmesini mümkün kılar.

Sonuç olarak, termal izolasyon ve depolama, enerji verimliliği, sürdürülebilirlik ve maliyetler açısından büyük önem taşır^{8, 9}.

6.2. Termal Isı Depolama'nın Avantajları

Termal ısı depolama, enerji depolama teknolojilerinden biridir ve birçok avantaja sahiptir. İşte termal ısı depolamanın avantajları:

Enerji verimliliği: Termal ısı depolama, enerji verimliliğini artırır. Enerjinin depolanması, enerjinin düşük talep olduğu zamanlarda gerçekleştirilir ve daha sonra yüksek talep olduğunda kullanılır. Bu, enerjinin daha etkili kullanımına olanak tanır.

Sürdürülebilirlik: Termal ısı depolama, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırır. Güneş veya rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakları, depolama yapılmadan kullanılamaz. Bu da termal ısı depolamanın sürdürülebilir bir enerji depolama çözümü olduğunu gösterir.

Maliyet azaltımı: Termal ısı depolama, enerji fiyatlarının dalgalanmasından etkilenmez. Düşük fiyatlı enerji üretimi zamanında enerjiyi depolayabilir ve daha sonra kullanabilirsiniz. Bu, enerji maliyetlerini düşürür ve uzun vadede tasarruf sağlar.

Depolama kapasitesi: Termal ısı depolama, yüksek depolama kapasitesine sahiptir. Termal depolama tankları, enerjiyi uzun süre depolamak için kullanılabilir ve daha sonra kullanılmak üzere serbest bırakılabilir.

Güvenilirlik: Termal ısı depolama, güvenilir bir enerji depolama çözümüdür. Depolama tankları, enerjinin yüksek talep zamanlarında serbest bırakılmasını sağlar ve enerjinin düşük talep zamanlarında depolanmasını sağlar. Bu, enerji talebi dalgalanmalarına karşı koruma sağlar.

Sonuç olarak, termal ısı depolama, enerji verimliliği, sürdürülebilirlik ve maliyet azaltımı açısından büyük avantajlar sunar. Bu teknoloji, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırır ve enerji depolama ihtiyacını karşılamak için güvenilir bir seçenek sağlar⁹⁻¹¹.

7. KAYNAKÇA

1. Penrose, O., (1970), CHAPTER VI - Statistical Entropy. In *Foundations of Statistical Mechanics*, Penrose, O., Ed. Pergamon: Vol. 22, pp 208-238.
2. Tang, S.-Z.; Tian, H.-Q.; Zhou, J.-J.; Li, H., (2021), Evaluation and optimization of melting performance in a horizontal thermal energy storage unit with non-uniform fins. *Journal of Energy Storage*, 33, 102124.
3. Zhao, W.; Yu, G.; Li, S.; Liu, Z.; Wu, L., (2023), Rate capability and Ragone plots for thermal management multifunctional structure designing. *International Journal of Mechanical Sciences*, 252, 108367.
4. Zhang, S.; Pu, L.; Mancin, S.; Dai, M.; Xu, L., (2022), Role of partial and gradient filling strategies of copper foam on latent thermal energy storage: An experimental study. *Energy* 255, 124517.
5. Manganini, G.; Rivero, S.; Kouramas, K., A, (2021), flexible optimization framework for district systems based on topological graph and hybrid models. *Journal of Process Control* 107, 27-36.
6. Gómez-Gardars, E. B.; Rodríguez-Macias, A. (2022), Tena-García, J. L.; Fuentes-Cortés, L. F., Assessment of the water–energy–carbon nexus in energy systems: A multi-objective approach. *Applied Energy*, 305, 117872.
7. Chen, K.; Zheng, J.; Liu, A.; Zhang, Q.; Cui, Y.; Shao, J., (2022), Numerical study on seasonal operation of solar assisted hybrid borehole heat exchange array. *Energy and Buildings*, 276, 112487.
8. Diamant, R. M. E., (2014), *Thermal and Acoustic Insulation*. Elsevier Science.
9. Desjarlais, A. O.; Zarr, R. R. (2014), Insulation, A. C. C.-o. T., *Insulation Materials, Testing and Applications, 4th Volume*. ASTM International.



tmmob
makina mühendisleri odası

10. Deng, T., (2018), *Bioinspired Engineering of Thermal Materials*. Wiley:.
11. Buratti, C., (2019), *Translucent Silica Aerogel: Properties, Preparation and Applications*. Nova Science Publishers.



Ek-1 ve 2

Sıvılı sistem ile mahal ısıtması ve sıcak su temini.

Mevki : ESKİŞEHİR

$\Phi = 40^\circ$ Kuzey enlem

Isıtma Yüğü = 124.982,28 Kj/h

$t_w = -12^\circ\text{C}$

$t_m = 13^\circ\text{C}$

$t_s = 60^\circ\text{C}$

Kollektör Özellikleri

Düz Levhalı, 2 örtülü

Özgül gravitasyon =
1 Kg/Kg

$V_S = 63$ lt / dakika

$\mathcal{E}_{CS} = 0,70$

$V_{ÖD} = 300$ lt

$\mathcal{E}_L = 0,80$

$A_k = 90$ m²

$\beta = 55$

$\gamma = 0$ (Güneye bakan)

$F_r(\tau\alpha)_n = 0,79$

$F_r(U_L) = 17,375$ Kj/m

Sıvı bileşimi: % 50 Ethylene Glycol
— Su

$C_p = 3,420$ Kj/ Kg^{°C}

Özgül gravitasyon: 1,05 Kg/Kg

$V_v = 75$ lt / dakika

Depo Tankı

Depolama ortamı : Su

Özgül Isı = 4,18 Kj / Kg^{°C}

$V_U = 37$ lt/dak.

$V_H = 28,3$ lt/dak.

Birleştirilmiş Kollektör

Performans Karakteristikleri:

Kollektör seçimi: Kollektör
verim eğrisinden,

$\chi_1 = F_r (\tau\alpha)_n = 0,79$

$\chi_2 = F_r U_L = 17,375$

Ordinat ile kesişme
Eğim.

$V_K = 80$ lt / dakika.

1. Hal: Düzetme yok.

$F_r (\tau\alpha)_n = F_r U_L$

2. Hal: Düzeltme var.

$$F_r (\tau\alpha)_n = \left(\frac{1}{1 + \frac{m A_k}{2 C_K}} \right)$$

$$F_r U_L = \left(\frac{1}{1 + \frac{m A_k}{2 C_K}} \right)$$

Burada $C_K = m c_p$ (Hacimsel)
(Yoğunluk) . (Özgül) . (c_p)
gravitasyon

$\rho = 12,03$ Kg/m³

$c_p = 1$ Kj/h^{°C}

$C_K = 17272$ Kj/h^{°C}

Aynı şekilde

$C_s = 15797,7$ Kj/h^{°C}

$\left. \begin{array}{l} (\tau\alpha) \\ (\tau\alpha)_n \end{array} \right\} \begin{array}{l} 2 \text{ Örtülü} = 0,91 \\ 1 \text{ Örtülü} = 0,93 \end{array}$

(Kollektör/Depo) Isı
değiştirgeci yok:

$\frac{F'_r}{F_r} = 1$

Eğer değiştirgeç var ise

C_{min} , (C_K ve C_s)

lerden küçüğüdür.)

$$\sigma_1 = \frac{C_K}{\mathcal{E}_{CS} C_{min}}$$

$\sigma_1 = 1,56$

$$\sigma_2 = \frac{A_K (F_r U_L)}{C_K}$$

$$\sigma_2 = 0,0905$$

$$\frac{F'_r}{F_r} = \frac{1}{1 + \sigma_2 (\sigma_1 - 1)} = 0,9517$$

$$= 0,9517$$

$$F'_r (\tau, \alpha) = F_r \left(\frac{(\tau, \alpha)}{(\tau, \alpha)_n} \right)$$

$$\left(\frac{F'_r}{F_r} \right) = 0,6841$$

$$F'_r U_L = F_r U_L \left(\frac{F'_r}{F_r} \right)$$

$$= 16,535 \text{ Bulunur.}$$

Düzeltem Faktörleri

Sıvı Kollektörü için

$$\mu_1 = 1,0$$

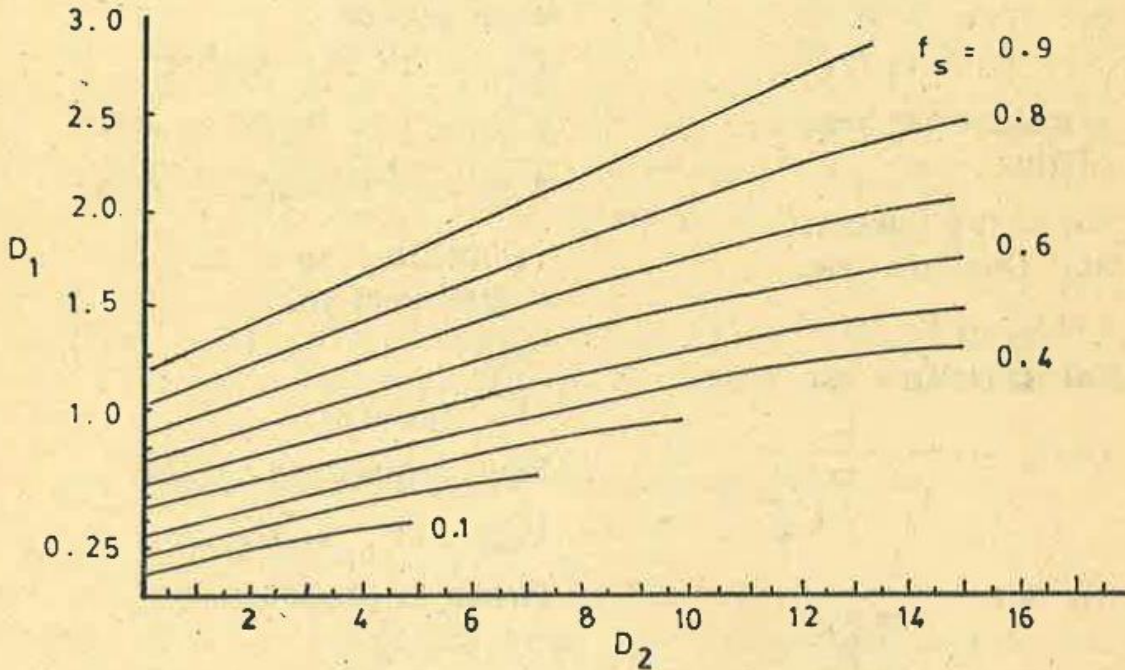
$\mu_2 =$ (Hacim Depolama) ortamı

$$\frac{(\mu_2 c_p)_s}{A_K} \text{ 'a bağlı}$$

olarak $\mu_2 = 1,1$

t_s, t_m 'e bağlı $\mu_3 = 1$

$\mu_4 = 1,0$ alınmaktadır.



Şekil 6 Sıvılı sistemli güneş enerjili ısıtmada "fs" diyagramı.

Güneş enerjisi tarafından uygulanan toplam ısıtma yükü kesri (Eskişehir).



Ay	1 L_Y Kj/Ay	2 D_1	3 D_2	4 f_s	5 H_{TG} Kj/Ay
Ocak	46536210	0,422	2,638	0,23	19638280
Şubat	38095760	0,607	2,88	0,35	13333516
Mart	34767555	0,844	3,341	0,5	17383777
Nisan	21835184			1	21835184
Mayıs	11666120		8,88	1	11666120
Haziran	3908021			1	—
Temmuz	1205094			1	—
Ağustos	1205094			1	—
Eylül	12828420			1	12828420
Ekim	18640138	1,75	5,749	0,85	15844117
Kasım	28584234	0,858	3,834	0,49	14006274
Aralık	39562192	0,5	3,004	0,28	11077413
	$L_{YT} = 258833990$				$(H_{TG})_T = 143931290$

$$f_{Sene} = \frac{(H_{TG})_T}{L_{TY}} = 0,556$$

$$5 - (H_{TG})_T = f_s \cdot L_Y$$

- 1 — Tablo (5.6.5.a) 3 — Tablo (5.6.4.a)
2 — Tablo (5.6.4.a) 4 — «fs» Diğramından

Sistem parametreleri D_1 , D_2 için aşağıdaki hesaplamalar yapılabilir.

Ay	1 S_G	2 L_Y	3	4 $^{\circ}C$	5
Ocak	320785	46536210	0,422	—0,8	744 2.638
Şubat	378548	38095760	0,607	1,2	672 2,88
Mart	479198	34767555	0,8448	4,6	744 3,341
Nisan	15917.30	21835184		10,2	720 4,847
Mayıs		11666120		15,2	744 8,852
Eylül		12828420		16,9	720 7,634
Ekim	532497	18640138	0,02856	12	744 5,749
Kasım	401046	28584234	0,858	7	720 3,834
Aralık	323454	39562192	0,5	2,4	744 3,004
1 — Tablo				$\mu_1 = 1,0$	
2 — Tablo				$\mu_2 = 1,1$	
3 — Referans (1)				$\mu_3 = \mu_4 = 1,0$	

$$D_2 = (A_K \cdot F'_r \cdot U_L (t_{ref} - t_o) \Delta t_{Zaman} / L) \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3$$

$$D_2 = 1636,965 \frac{100-t_o}{L_Y} \Delta t_{Zaman}$$

$$D_1 = (A_K F'_r U_L (\overline{\tau\alpha}) S_G / L_Y) \cdot \mu_4$$

$$D_1 = 61,312 (S_G / L_Y)$$

$$A_K = 90 \text{ m}^2, \quad F'_r (\overline{\tau\alpha}) = 0,69, \quad F'_r U_L = 16,535$$

Tablo (5.6.5.a) Isıtma ve Sıcak Su Yüğü L_Y

Ay	1 °C-gün	2 Q_1 KJ/Ay	3 G_{ss} lt/Ay	4 Q_w KJ/Ay	5 L_Y KJ/Ay
Ocak	644,8	45331116	9610	1205094	46536210
Şubat	526,4	37007288	8680	1088472	38095760
Mart	477,4	33562461	9610	1205094	34767555
Nisan	294	20668964	9300	1166220	21835184
Mayıs	148,8	10461026	9610	1205094	11666120
Haziran	39	2741801	9300	1166220	3908021
Temmuz	—	—	9610	1205094	1205094
Ağustos	—	—	9610	1205094	1205094
Eylül	93	6538141,8	9300	1166220	12828420
Ekim	248	17435044	9610	1205094	18640138
Kasım	390	27418014	9300	1166220	28584234
Aralık	545,6	38357098	9610	1205094	39562192

$$Q_1 = PF \cdot 24 \cdot (UA) \cdot (\text{Derece gün}) \text{ ve } PF = 0,75$$

$$Q_w = \text{Su Hacmi} \cdot \rho \cdot c_p (t_s - t_m), \quad L_Y = Q_s + Q_w$$

$$q_d = 122482,28 \text{ KJ/h}, \quad \Delta t_d = t_w = 20 - (-12) = 32^\circ\text{C}$$

$$UA = q_d / \Delta t_d = 3905,7 \text{ KJ} / \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$



	\bar{H}_{TY} Kj/m ² gün		R_T	H_T Kj/m ² gün	aydaki gün sayısı	S_G Kj/m ² ay
	1	2	3	4	5	6
Ocak	6087	0,3956	1,7	10348	31	320785
Şubat	8403	0,407	1,61	13519,5	28	378548
Mart	11800	0,426	1,31	15458	31	378548
Nisan	15917	0,455	1	15917	30	477510
Mayıs	19355	0,483	1	19355	31	600005
Haziran	21069	0,5025	1	21069	30	632070
Temmuz	21338	0,5234	1	21338	31	661478
Ağustos	19950	0,5448	1	19950	31	618450
Eylül	16075	0,5358	1	16075	30	482250
Ekim	11871	0,5716	1,447	17177	31	532497
Kasım	7885	0,488	1,6954	13368	30	401046
Aralık	5566	0,402	1,8746	10434	31	323454

1. Kolon, Tablo (5.2.1)

2. Kolon, Tablo (5.3.1)

3. Kolon, Şekil (5.3.2.a)

4. $\bar{H}_T = \bar{H}_{TY} \cdot R_T$

5. $S_G = \bar{H}_T \cdot$ (Aydaki gün sayısı)

Buraya kadar tablolar ile Eskişehir için yapılan hesaplar, aşağıda aynı şekilde Antalya için yapılacaktır. Şekil (5.6.1) deki «fs» diağramını Klein* ortaya koymuştur.



Ay	1 Toplam aylık l.y L_y (Kj/ay)	2 D_1	3 D_2	4 f_s	5 H_{TG} (Kj / Ay)
Ocak	22866587	1,085	4,788	0,6	13719952
Şubat	19467920	1,189	5,045	0,61	11875431
Mart	16958907	1,765	6,262	0,82	13906303
Nisan	8789032,8		11,21	1	8989032,8
Mayıs	1205094			1	1205094
Haziran	1166220			1	1166220
Temmuz	1205094			1	1205094
Ağustos	1205094			1	1205094
Eylül	1166220			1	1205094
Ekim	1205094			1	1205094
Kasım	10482991	2,759	9,489	1	10482991
Aralık	18928133	1,33	5,668	0,69	13060411

$$L_{YT} = 104646380 \text{ Kj / Sene}$$

$$(H_{TG})_T = 78986936 \text{ Kj / Se.}$$

$$f_{Sene} = L_{YT} / (H_{TG})_T = 0,7548$$

Tablo (5.6.4.b) Sistem Parametreleri D_1 , D_2

Ay	1 S_G Kj / m ² Ay	2 L_Y Kj / Ay	3 D_1	4 t_o °C	5 Aydaki Saat	6 D_2
Ocak	405396,57	22866587	1,085	10,1	744	4,788
Şubat	378236	19467920	1,189	10,7	672	5,045
Mart	488660,5	16958907	1,765	12,8	744	6,262
Nisan		8789032,8		16,4	720	11,21
Mayıs				20,5	744	
Haziran	649136,73			25	720	
Temmuz	700152			28,2	744	



tmmob
makina mühendisleri odası

Esnek Enerji Depolama ve Dönüşüm Sistemleri Flexible Energy Storage and Conversion Systems

Dr. M. Cem Çelik¹, Dr. Barbaros Batur², , Muammer Akgün³

1 Marmara Üniversitesi

2 Yıldız Teknik Üniversitesi

3 MMO İstanbul Şube Kazan ve Basınçlı Kaplar Komisyonu

Anahtar kelimeler: Enerji depolama, Esnek sistemler, Enerji verimliliği

ÖZET

Günümüzde enerji, modern yaşamın temel taşıdır. Elektrik enerjisi, endüstriyel tesislerden evlerimize, ulaşım araçlarından bilgisayarlarımıza kadar hayatımızın her alanında vazgeçilmez bir rol oynamaktadır. Ancak enerjinin üretimi ve tüketimi arasındaki dengeyi sağlamak, çeşitli zorluklarla karşılaşmamıza sebep olmaktadır. Özellikle, enerjinin dalgalı doğası ve beklenmeyen kesintiler, sürekli ve güvenilir bir enerji arzını zorlaştırmaktadır. Esnek enerji depolama sistemleri, bu zorlukları aşmak için kritik bir role sahiptir. Bu sistemler, enerjiyi dönemsel olarak depolayarak talep artışları veya kesintileri sırasında ihtiyaç duyulan enerjiyi sağlar. Bu sayede, enerji verimliliği artar ve elektrik ağı daha kararlı hale gelir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının dalgalı doğasıyla uyum sağlayarak, güneş ve rüzgar enerjisinin daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlar. Esnek enerji depolama sistemlerinin önemi, sadece enerji sektöründe değil, aynı zamanda endüstriyel tesislerden ev enerjisi kullanımına kadar geniş bir yelpazede hissedilmektedir. Bu teknolojiler, enerji tüketim alışkanlıklarımızı dönüştürerek geleceğin enerji ihtiyaçlarına uygun çözümler sunmaktadır. Bu yazıda, esnek enerji depolama sistemlerinin çeşitli türlerini ve işleyiş prensiplerini detaylı bir şekilde inceleyeceğiz. Ayrıca, bu teknolojilerin gelecekteki enerji sektörünü nasıl şekillendirebileceğini ve sürdürülebilir enerji hedeflerine nasıl katkıda bulunabileceğini ele alacağız.

Anahtar kelimeler: Esnek Enerji Depolama Sistemleri, Enerji Depolama Teknolojileri, Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu

ABSTRACT

Today, energy is the cornerstone of modern life. Electricity plays an indispensable role in every aspect of our lives, from industrial facilities to our homes, transportation, and even our computers. However, maintaining a balance between energy production and consumption presents various challenges. In particular, the fluctuating nature of energy and unexpected interruptions make it difficult to ensure a constant and reliable energy supply. Flexible energy storage systems play a critical role in overcoming these challenges. These systems store energy periodically, providing the needed power during demand spikes or interruptions. This leads to increased energy efficiency and greater stability in electrical grids. Additionally, they facilitate the more effective utilization of solar and wind energy by adapting to the intermittent nature of renewable energy sources. The significance of flexible energy storage systems is felt not only in the energy sector but also across a wide spectrum, from industrial facilities to household energy consumption. These technologies offer solutions tailored to the future energy needs by transforming our energy consumption habits. In this article, we will explore various types and operational principles of flexible energy storage systems in detail. Furthermore, we will discuss how these technologies can shape the future energy sector and contribute to sustainable energy goals.

Keywords: Flexible Energy Storage Systems, Energy Storage Technologies, Renewable Energy Integration

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji depolama konusunda en büyük ihtiyaç elektrik enerjisinin depolanması üzerinedir. Elektrik enerjisi, çoğu durumda en düşük maliyetle her yerde kolayca ve hazır bulabileceğimiz bir ticari üründür. Uzun zamandır ortak tüketim malı olarak kabul edilmiştir. Elektrik üretildiği gibi tüketilmektedir. Bilgi çağında elektrik enerjisine her zamankinden daha çok ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, arz-talep dengesi dikkate alınarak üretim yapılmalıdır. Arz-talep dengesinde oluşan büyük farkın, depolama teknolojisiyle kapatılması amaçlanmıştır. Enerji depolama sistemleri arz-talep dengesizliğinden dolayı, her zamankinden daha fazla zorunluluk haline gelmiştir. Fakat depolamak oldukça



zor ve maliyetli ekipmanlar gerektirir. Depolanan enerji tamamen tükenmeden önce yerine koyulmalıdır. Tamamen tükenmenin yaşanmaması için olasılıkların çok iyi hesaplanıp kesinti süreleri, talepte meydana gelen anlık artış ve azalışlar dikkate alınarak uygun sistem tasarlanması gerekir. Ancak bu sayede kesinti yaşanmadan faaliyetlere devam edilebilir. Ayrıca, enerji depolama sistemlerinin artması, rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik şebekemizin daha fazlasını beslemesine olanak sağlar [1,2].

Elektrik enerjisi, çeşitli yöntemlerle depolanabilir. Bunlar; kimyasal, elektrokimyasal, elektriksel, mekanik ve termal sistemlerdir. Bu yöntemler arasında mekanik pompalı ve hidro depolama sistemleriyle beraber termal enerji depolama sistemleri ön planda ortaya çıkmıştır ve yoğun bir biçimde araştırılıp kolayca uygulanabileceği ön görülmüştür [3]. Bu çalışma ile temel enerji depolama sistemlerin araştırılması ve gelişen teknolojiye bağlı olarak bu sistemlerdeki inovatif yaklaşımların incelenmesi amaçlanmıştır. Özellikle sistemler arasında karşılaştırmalı analizler yapılarak avantaj ve dezavantajların ortaya konulması ile bu alanda yapılacak olan çalışmalara öncü olunması hedeflenmiştir.

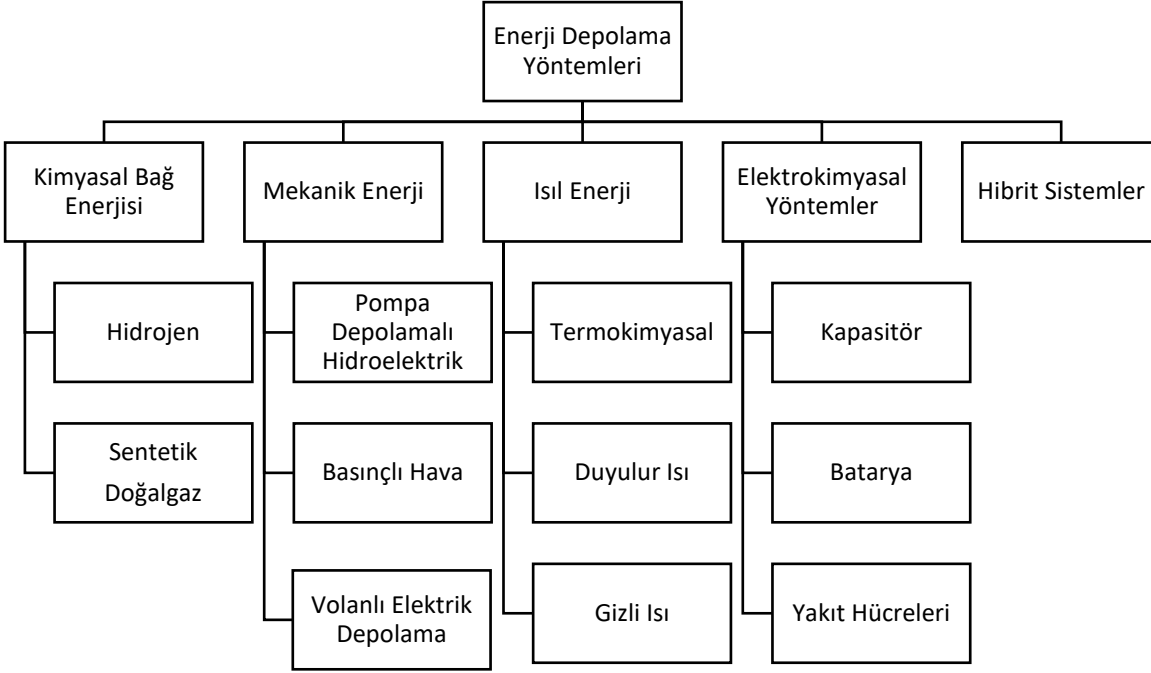
Enerji depolama konusundaki bu kapsamlı açıklama, enerjinin keşfinden günümüze kadar olan gelişmeleri, enerji depolama sistemlerinin önemini ve gelecekteki önemli rolünü detaylı bir şekilde anlatmaktadır. Bu alandaki inovatif yaklaşımların incelenmesi ve avantaj/dezavantajların karşılaştırmalı analizlerle ortaya konulması gelecekteki çalışmalar için çok önemli bir temel oluşturmaktadır. Enerji depolama teknolojileri, sadece enerji arzını dengeleme konusunda değil, aynı zamanda enerji üretimindeki dalgalanmaları da dengeleme potansiyeline sahiptir. Bu da yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlar. Güneş ve rüzgar gibi değişken enerji kaynaklarından gelen enerjiyi depolayarak, ihtiyaç duyulduğunda kullanılmasını sağlamak, enerji sistemlerinin sürdürülebilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Ancak, enerji depolama teknolojilerinin geliştirilmesi ve uygulanması sürecinde bazı zorluklarla karşılaşılabilir. Bu zorluklar arasında maliyet, verimlilik, çevresel etkiler ve teknik uygunluk gibi faktörler bulunmaktadır. Bu alanlarda yapılan araştırmalar ve teknolojik ilerlemeler, enerji depolama sistemlerinin daha etkili ve sürdürülebilir hale getirilmesine yardımcı olacaktır [4].

Sonuç olarak, enerji depolama sistemleri, gelecekte enerji sektörünün önemli bir bileşeni olacak ve enerji yönetimi alanında büyük etkiler yaratacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayarak, enerji sistemlerinin sürdürülebilirliğini artıracak ve çevresel etkileri azaltacaktır. Bu alandaki çalışmalar ve teknolojik gelişmeler, enerji depolama sistemlerinin daha da geliştirilmesini ve yaygınlaştırılmasını sağlayarak, enerji sektörünün geleceğini şekillendirecektir.

2. YÖNTEM

Enerji depolama teknikleri, çeşitli uygulama alanlarında kullanılacak çok yönlü sistemlerdir. Bu sistemler, dönüştürülen enerjinin biçimine göre geniş bir sınıflandırmaya tabi tutulur. Enerji depolama teknikleri, Şekil 1'de gösterildiği gibi farklı kategorilere ayrılabilir. Bu kategoriler arasında kimyasal, elektrokimyasal, elektriksel, mekanik ve ısı depolama bulunmaktadır. Kimyasal depolama, enerjinin kimyasal bileşenler aracılığıyla depolanmasını sağlar. Elektrokimyasal depolama, kimyasal reaksiyonların elektrik enerjisine dönüştürülmesini içerir. Elektriksel depolama, enerjinin elektrik alanları veya kapasitörler aracılığıyla depolanmasını temsil eder. Mekanik depolama, enerjinin mekanik bir sistemde depolanmasını sağlar, bu genellikle kinetik enerjinin potansiyel enerjiye dönüştürülmesiyle gerçekleşir. Isıl depolama ise enerjinin sıcaklık farklılıkları aracılığıyla depolanmasını sağlar.

Her bir enerji depolama tekniği, belirli bir uygulama alanında avantajlara sahiptir. Örneğin, kimyasal depolama genellikle yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir ve uzun süreli depolama için uygundur. Elektrokimyasal depolama, hızlı şarj-deşarj özellikleri ile dikkat çeker ve taşınabilir elektronik cihazlarda yaygın olarak kullanılır. Elektriksel depolama, yüksek verimlilikle çalışabilir ve güçlü bir enerji yönetimi sağlar. Mekanik depolama, fiziksel olarak dayanıklıdır ve çevresel etkilere karşı dirençlidir. Isıl depolama ise genellikle sıcaklık kontrolü gereken uygulamalarda tercih edilir. Bu beş ana enerji depolama tekniği, farklı enerji ihtiyaçları için çeşitli avantajlar sunar [5]. Bu nedenle, uygulama gereksinimlerine bağlı olarak doğru depolama tekniğinin seçilmesi büyük önem taşır. Bu tekniklerin sürekli olarak geliştirilmesi ve iyileştirilmesi, enerji depolama alanında gelecekte daha verimli ve sürdürülebilir çözümlerin ortaya çıkmasını sağlayacaktır.



Şekil 1. Enerji depolama teknikleri [2]

3. KİMYASAL ENERJİ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ

Kimyasal enerji depolama teknolojileri, enerjinin kimyasal reaksiyonlar yoluyla depolanıp istendiğinde serbest bırakılmasını sağlayan önemli bir enerji depolama yöntemlerinden biridir. Bu teknolojiler, temiz enerji üretiminden enerji ihtiyacının karşılanmasına kadar geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir [6]. Kimyasal enerji depolama, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının dalgalı doğasını dengelemek ve enerji talebinin sürekli karşılanmasını sağlamak için kritik bir rol oynar. Bu teknolojiler, çeşitli kimyasal reaksiyonlar aracılığıyla enerjiyi depolayarak gelecekteki enerji ihtiyaçları için güvenilir ve verimli bir çözüm sunar [7].

Hidrojen Depolama ve Yakıt Hücreleri (Hydrogen Storage and Fuel Cells): Hidrojen, genellikle su elektrolizi ile üretilir ve depolanır. Ardından yakıt hücrelerinde oksijen ile reaksiyona girerek elektrik enerjisi üretilir [8]. Bu teknoloji temiz enerji üretiminde potansiyel olarak önemlidir çünkü yan ürün olarak sadece su üretilir.

Lityum İyon Piller (Lithium-ion Batteries): Lityum iyon piller, enerjiyi kimyasal olarak depolar ve serbest bırakır. Bu piller, cep telefonları, dizüstü bilgisayarlar ve elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılır. Lityum iyon piller, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olup, taşınabilirlikleri ve hızlı şarj/deşarj kapasiteleri ile dikkat çeker.

Sodyum-Sülfür Piller (Sodium-Sulphur Batteries): Sodyum-sülfür piller, yüksek sıcaklıklarda çalışan bir tür kimyasal depolama sistemidir. Bu piller, enerjiyi sodyum ve sülfür arasındaki kimyasal reaksiyonlarla depolar ve serbest bırakır. Bu teknoloji genellikle büyük ölçekli enerji depolama sistemlerinde kullanılır.

Redoks Akümülatörler (Redox Flow Batteries): Redoks akümülatörler, kimyasal reaksiyonların elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlayan bir tür akümülatördür. Bu sistemde, elektrotlar üzerinde redoks reaksiyonları gerçekleşir.

Bu teknoloji, enerji depolama kapasitesini artırmak için farklı elektrot malzemeleri kullanarak geliştirilebilir.

Yenilenebilir Hidrokarbon Yakıtlar (Renewable Hydrocarbon Fuels): Bu teknolojide, güneş veya rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak karbon dioksit ve su gibi hammaddeler kullanılarak hidrokarbon yakıtları üretilir.

Bu yakıtlar daha sonra enerji ihtiyacının olduğu yerde yakılarak enerji üretimini sağlar.



Kimyasal enerji depolama teknolojileri, enerjiyi depolamanın ve taşımının etkili bir yolunu temsil eder. Bu sistemler, enerjiyi dönüştürerek, depolayarak ve serbest bırakarak gelecekteki enerji ihtiyaçlarını karşılamak için önemli bir rol oynayabilir[8] [9].

3.1. Hidrojen Depolama Teknikleri

Hidrojen depolama teknikleri, hidrojenin enerji depolama amacıyla farklı fiziksel ve kimyasal yöntemlerle muhafaza edilmesini sağlar. Bu teknikler, hidrojenin gaz, sıvı veya katı formda depolanmasını içerir. İşte bazı temel hidrojen depolama teknikleri:

Basınçlı Tüpler (Cylinder Storage): Hidrojen gazı, yüksek basınçlı çelik veya kompozit tüplerde sıkıştırılarak depolanabilir. Bu yöntem, endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Ancak, enerji yoğunluğu düşüktür ve büyük miktarlarda depolama için çok fazla alan gerektirir.

Sıvılaştırılmış Hidrojen (Liquid Hydrogen Storage): Hidrojen, düşük sıcaklıklarda (-253°C) sıvı hale getirilerek depolanabilir. Bu şekilde depolama, hacim açısından daha verimlidir, ancak sıvılaştırma işlemi enerji yoğunluğu yüksek olduğundan enerji kaybına neden olabilir.

Hidrojen Emilim ve Emisyon (Hydrogen Absorption and Desorption): Metal ve alaşım malzemeler hidrojeni emerek (absorbe ederek) depolayabilir ve istendiğinde geri verebilir (desorbe ederek). Bu malzemeler hidrojeni kristal yapılarına alarak depolar. Ancak, bu teknikler genellikle yüksek sıcaklık ve basınçlarda çalışırlar.

Kimyasal Taşıyıcılar (Chemical Carriers): Bu sistemde, hidrojen kimyasal bir taşıyıcı ile reaksiyona girer ve taşıyıcı madde hidrojeni depolar. Daha sonra, depolanan hidrojen geri elde edilebilir. Bu yaklaşım, hidrojenin daha güvenli ve taşınabilir kimyasal formda depolanmasını sağlar.

Karışık Metal Hidritler (Metal Hydrides): Bu sistemde, hidrojen metallerin kristal yapısına emilir. Daha sonra, ısı uygulanarak hidrojen geri alınabilir. Bu yöntem, güvenli ve kompakt bir depolama sağlar, ancak metal hidritlerin ağırlığı ve hacmi sınırlamalar getirir.

Hidrojen Adsorpsiyonu (Hydrogen Adsorption): Özel yüzey kaplamaları veya nano yapılar, hidrojeni adsorbe ederek depolayabilir. Bu yöntem, nano teknolojiye dayalı gelişmelerle geliştirilmektedir.

Her bir depolama tekniğinin avantajları ve dezavantajları vardır ve uygulama bağlamına göre tercih edilirler. Örneğin, taşıma ve mobil uygulamalar için farklı depolama yöntemleri tercih edilebilirken, endüstriyel tesislerde farklı teknikler kullanılabilir.

3.2. Sentetik Doğal Gaz (SNG) Depolama Teknikleri

Sentetik Doğal Gaz (SNG), doğal gazın yapay olarak üretilmiş bir formudur. SNG depolama teknikleri, bu sentetik doğal gazın saklanması ve kullanılabilirliğini sağlayan yöntemleri içerir. İşte bazı temel SNG depolama teknikleri:

Yüksek Basınçlı Depolama (High-Pressure Storage): SNG, yüksek basınçlı tanklarda sıkıştırılarak depolanabilir. Bu yöntem, doğal gazın genellikle nasıl depolandığına benzer şekilde çalışır. Ancak, SNG'nin depolanması için özel ekipmanlar ve tanklar gerekebilir.

Sıvılaştırılmış SNG (Liquefied SNG - LSNG): SNG düşük sıcaklıklarda sıvı hale getirilerek depolanabilir. Bu işlem, SNG'nin hacmini önemli ölçüde azaltır, bu da depolama için daha az alan gerektiği anlamına gelir. Ancak, sıvılaştırma işlemi enerji yoğun olduğundan, enerji kaybına neden olabilir.

Depolama Tüpleri (Storage Tubes): SNG, özel kaplamalı tüplerde kimyasal olarak depolanabilir. Bu tüpler, SNG'yi içlerine emerek depolar. Daha sonra, tüpler ısıtılarak SNG geri verilebilir.

Jeolojik Depolama (Geological Storage): SNG, yeraltı formasyonlarına enjekte edilerek depolanabilir. Bu yöntem, doğal gazın doğal rezervuarlarda depolanma şekline benzer. Ancak, SNG'nin depolanması için uygun jeolojik koşulların bulunması gerekir.

Yarı-Sıvı Depolama (Semi-Liquid Storage): SNG, belirli koşullarda yarı-sıvı hale getirilerek depolanabilir. Bu yöntem, SNG'nin daha yoğun bir formda saklanmasını sağlar.

Kimyasal Bağlama (Chemical Binding): SNG, kimyasal reaksiyonlarla belirli malzemelerle bağlanarak depolanabilir. Bu yöntem, SNG'nin belirli bir süre boyunca emilmesini sağlar.



Her bir depolama tekniğinin avantajları ve dezavantajları vardır ve uygulama bağlamına göre tercih edilirler [10]. Örneğin, taşıma ve mobil uygulamalar için farklı depolama yöntemleri tercih edilebilirken, endüstriyel tesislerde farklı teknikler kullanılabilir.

4. ELEKTRİKSEL ENERJİ DEPOLAMA TEKNİKLERİ

Elektriksel enerji depolama teknikleri, elektrik enerjisinin geçici olarak saklanması ve ihtiyaç duyulduğunda geri alınmasını sağlayan yöntemlerdir. İşte bazı temel elektriksel enerji depolama teknikleri:

Piller (Batteries): Piller, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek enerjiyi depolar. Farklı türde piller bulunmaktadır, örneğin lityum-iyon piller, kurşun-asit piller, sodyum-sülfür piller vb.

Yükseltgen-İndirgen Aküler (Redox Flow Batteries): Bu tür piller, elektrolitler aracılığıyla enerjiyi depolar. Elektrolitlerin reaksiyonları sonucu enerji üretilir. Bu piller, depolama kapasitesini artırma avantajına sahip olabilir.

Yarı İletken Depolama Sistemleri (Superconducting Magnetic Energy Storage - SMES): Bu sistemler, süper iletkenlik özelliğine sahip malzemeler kullanarak manyetik enerjiyi depolar. Bu yöntem hızlı enerji geri dönüşü sağlar.

Yükseltgen İndirgen Akümülatörler (Rechargeable Capacitors): Kapasitörler, elektrik yükünü depolayarak enerjiyi saklar. Rechargeable kapasitörler, depolama kapasitelerini artırmak için yeniden şarj edilebilir özelliktedir.

Yükseltgen İndirgen Süperkapasitörler (Supercapacitors): Süperkapasitörler, yüksek yükleme ve boşaltma hızlarına sahip kapasitörlerdir. Kısa süreli enerji depolama için idealdirler.

Yüksek Sıcaklıkta Süperiletken Manyetik Enerji Depolama (High Temperature Superconducting Magnetic Energy Storage - HTS SMES): Yüksek sıcaklıkta süperiletkenler kullanarak manyetik enerjiyi depolar. Daha yüksek depolama kapasitelerine olanak tanır.

Elektrokimyasal Kapasitörler (Electrochemical Capacitors): Bu kapasitörler, yüksek yükleme ve boşaltma hızlarına sahip olup enerjiyi kimyasal reaksiyonlarla depolar.

Bu teknikler arasında seçim, uygulamanın özelliklerine, enerji ihtiyacına, depolama süresine ve maliyet faktörlerine bağlı olarak yapılır [3]. Her bir teknik, farklı avantajlara ve dezavantajlara sahiptir ve belirli uygulamalar için daha uygundur.

5 ELEKTROKİMYASAL ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ

Elektrokimyasal enerji depolama teknikleri, kimyasal reaksiyonların elektrik enerjisine dönüştürülmesi veya tersine, elektrik enerjisinin kimyasal enerjiye depolanması prensibiyle çalışan yöntemlerdir. İşte bu tekniklerden bazıları:

Yükseltgen-İndirgen Aküler (Redox Flow Batteries): Bu sistemler, elektrotlar arasında bulunan sıvı elektrolit çözeltilerinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar yoluyla enerjiyi depolar. Bu reaksiyonlar, elektrotların üzerinden akım geçirirken oluşur.

Lityum-İyon Piller (Lithium-Ion Batteries): Lityum-iyon piller, lityum iyonlarının bir elektrot üzerinden diğerine geçişiyle çalışır. Bu geçiş, elektrik yükünün oluşturulmasını sağlar. Mobil cihazlardan elektrikli araçlara kadar birçok uygulamada kullanılır.

Kurşun-Asit Aküler (Lead-Acid Batteries): Kurşun-asit aküler, sülfürik asit elektrolit çözeltisi ile kurşun ve kurşun dioksit elektrotları arasındaki kimyasal reaksiyonlardan elektrik üretir. Bu tip bataryalar genellikle otomotiv uygulamalarında kullanılır.

Nikel-Kadmiyum Aküler (Nickel-Cadmium Batteries): Nikel-kadmiyum aküler, nikel oksit-hidroksit ve kadmiyum elektrotları arasındaki kimyasal reaksiyonlardan elektrik enerjisi üretir.

Yarı İletken Depolama Sistemleri (Superconducting Magnetic Energy Storage - SMES): Bu sistemler, süper iletken malzemeler kullanarak manyetik enerjiyi depolar. Süper iletkenlik özelliği sayesinde enerjiyi çok uzun süre muhafaza edebilirler.

Lityum Hava Pilleri (Lithium-Air Batteries): Bu piller, çevredeki havadaki oksijeni kullanarak çalışır. Lityum hava pilleri, yüksek enerji yoğunluğu ile dikkat çeker.



Sodyum-Sülfür Aküler (Sodium-Sulfur Batteries): Bu piller sodyum ve sülfür elektrotları arasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlarla enerji depolar.

Bu teknikler, farklı uygulama alanlarına göre tercih edilir ve belirli avantajlara ve dezavantajlara sahiptir [2] [4]. Örneğin, lityum-iyon piller taşınabilir cihazlarda yaygın olarak kullanılırken, redoks aküler enerji depolama sistemlerinde tercih edilebilir.

5.1. Çalışma Prensibine Göre Piller

Çalışma prensiplerine göre piller farklı kategorilere ayrılabilir. İşte bazı temel piller ve çalışma prensipleri:

Kimyasal Piller (Chemical Batteries): Kimyasal piller, kimyasal reaksiyonlar sonucu meydana gelen elektrik akımını kullanarak enerji depolar. Örneğin, kurşun-asit aküler, lityum-iyon piller, nikel-kadmiyum aküler gibi yaygın kullanılan pil tipleri bu kategoriye dahildir.

Fotovoltaik Hücreler (Solar Cells): Fotovoltaik hücreler, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Güneş ışığı hücredeki yarı iletken malzemelerin yüzeyinde fotoelektrik etki oluşturarak elektrik akımı üretir.

Elektrokimyasal Piller (Electrochemical Batteries): Bu piller, kimyasal reaksiyonların elektrik enerjisine dönüştürülmesi veya tersine, elektrik enerjisinin kimyasal enerjiye depolanması prensibiyle çalışır. Örneğin, lityum-iyon piller bu kategoriye dahildir.

Yarı İletken Depolama Sistemleri (Superconducting Magnetic Energy Storage - SMES): Bu sistemler, süper iletken malzemeler kullanarak manyetik enerjiyi depolar. Süper iletkenlik özelliği sayesinde enerjiyi çok uzun süre muhafaza edebilirler.

Yükseltgen-İndirgen Aküler (Redox Flow Batteries): Bu sistemler, elektrotlar arasında bulunan sıvı elektrolit çözeltilerinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar yoluyla enerjiyi depolar. Bu reaksiyonlar, elektrotların üzerinden akım geçirirken oluşur.

Elektromanyetik Radyoizotop Piller (Radioisotope Thermoelectric Generators - RTG): Bu piller, radyoaktif bir izotopun yaydığı ısıyı elektrığe dönüştürerek çalışır. Uzay araştırmalarında sıklıkla kullanılır.

Bu piller farklı çalışma prensiplerine dayanarak enerji depolar ve çeşitli alanlarda kullanılır. Örneğin, kimyasal piller taşınabilir cihazlarda yaygın olarak kullanılırken, fotovoltaik hücreler güneş enerjisini elektrığe dönüştürerek kullanılır.

5.2. Kullanılan Kimyasalın Çeşidine Göre Piller

Kullanılan kimyasalın çeşidine göre piller, farklı kimyasal reaksiyonlarla çalışan ve enerji depolayan çeşitli kategorilere ayrılır. İşte yaygın olarak bilinen bazı piller ve kullandıkları kimyasal türleri:

Kurşun-Asit Aküler (Lead-Acid Batteries): Elektrotlarda kurşun dioksit (PbO₂) ve sulu sülfürik asit (H₂SO₄) çözeltisi kullanılır. Bu piller, otomobil aküleri gibi yaygın olarak kullanılır.

Lityum-İyon Piller (Lithium-Ion Batteries): Lityum bileşenleri, elektrotlarda kullanılır. Mobil cihazlar, dizüstü bilgisayarlar ve elektrikli araçlarda sıkça kullanılır.

Nikel-Kadmiyum Aküler (Nickel-Cadmium Batteries): Nikel ve kadmiyum bileşenleri kullanılır. Taşınabilir elektronik cihazlarda yaygın olarak kullanılmış, ancak çevre dostu olmadığı için lityum-iyon pillerle yer değiştirmiştir.

Nikel-Metal Hidrit Aküler (Nickel-Metal Hydride Batteries): Nikel ve metal hidrit bileşenleri kullanılır. Taşınabilir cihazlarda lityum-iyon pillere alternatif olarak kullanılır.

Çinko-Karbon Piller (Zinc-Carbon Batteries): Çinko ve karbon bileşenleri kullanılır. Bunlar genellikle düşük güçlü cihazlarda, örneğin kumandalar ve saatlerde kullanılır.

Lityum Polimer Piller (Lithium Polymer Batteries): Lityum bileşenleri polimer bir elektrolit içinde kullanılır. Daha esnek yapıları ile çeşitli cihazlarda kullanılırlar.

Alkalin Piller (Alkaline Batteries): Alkalin bir çözelti (genellikle potasyum hidroksit) kullanılır. Bu piller evdeki elektronik cihazlarda yaygın olarak kullanılır.

Çinko Hava Pilleri (Zinc-Air Batteries): Çinko ve havayı kullanarak çalışırlar. Bu piller genellikle işitme cihazlarında kullanılır.



Lityum Kükür Dihalojen Piller (Lithium Sulfur Dihalide Batteries): Lityum, kükür ve diğer bileşenler kullanılır. Uzun ömürlüdürler ve yüksek enerji yoğunluğuna sahiptirler.

Organik Aküler (Organic Batteries): Organik bileşenlerin kullanıldığı bu piller, çevre dostu seçenekler olarak dikkat çeker.

Her bir pil tipi farklı kimyasal reaksiyonlara dayanarak çalışır ve belirli uygulama alanları için avantajlara sahiptir [11]. Örneğin, lityum-iyon piller taşınabilir elektronik cihazlarda, kurşun-asit aküler otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılır.

6. MEKANİK ENERJİ DEPOLAMA TEKNİKLERİ

Mekanik enerji depolama teknikleri, enerjiyi mekanik bir formda depolamak ve geri çevirmek için kullanılan yöntemlerdir. İşte mekanik enerji depolama tekniklerinin bazı örnekleri:

Yaylı Sistemler (Spring Systems): Bir yayın gerilip enerji depolanması, sonra yay serbest bırakıldığında bu enerjinin geri dönüşmesi prensibine dayanır. Bu tip sistemler mekanik saatlerde yaygın olarak kullanılır.

Sıkıştırılmış Hava Enerji Depolama (Compressed Air Energy Storage - CAES): Enerji, düşük talep dönemlerinde sıkıştırılmış hava olarak depolanır ve yüksek talep anlarında bu hava serbest bırakılarak enerjiye dönüştürülür.

Kinetik Enerji Depolama (Flywheel Energy Storage): Enerji, bir döner kütle (genellikle bir volan) tarafından depolanır. Düşük talep dönemlerinde hızlanan kütle enerjiyi depolar ve yüksek talep dönemlerinde yavaşlayarak bu enerjiyi geri verir.

Yerçekimi Enerji Depolama (Gravity Energy Storage): Potansiyel enerjiyi kullanarak çalışır. Enerji, yüksek bir yere kaldırılan ağırlıklar veya suyun yükseltilmesiyle depolanır ve ihtiyaç duyulduğunda aşağı bırakılarak enerjiye dönüştürülür.

Basınçlı Sıvı Enerji Depolama (Hydraulic Accumulator): Enerji, bir sıvının bir kap içinde sıkıştırılması veya genişletilmesi yoluyla depolanır. Bu sistemler hidroelektrik santrallerde enerji dengelemesi için kullanılabilir.

Bu mekanik enerji depolama teknikleri, belirli uygulama alanları için avantajlara sahip olabilirler [12]. Örneğin, CAES genellikle büyük ölçekli enerji depolama sistemlerinde tercih edilirken, kinetik enerji depolama küçük ölçekli ve hızlı yanıt veren uygulamalarda kullanılabilir.

7 ISIL ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ

Isıl enerji depolama teknikleri, enerjiyi ısı olarak depolamak ve bu ısıyı ihtiyaç duyulduğunda geri çevirmek için kullanılan yöntemlerdir. İşte bazı ısıl enerji depolama tekniklerinin örnekleri:

Sıcaklık Depolama Tankları (Hot Water Storage Tanks): Sıcak suyun büyük kapasiteli tanklarda depolanmasıyla çalışır. Bu sistemler, güneş enerjisi veya diğer ısı kaynaklarından elde edilen fazla ısıyı depolamak için kullanılabilir.

Eriyik Tuz Depolama (Molten Salt Storage): Yüksek sıcaklıklarda eriyebilen tuzların kullanılmasıyla çalışır. Enerjiyi depolamak için tuzun ısısı artırılır, enerji ihtiyacı olduğunda ise tuzun sıcaklığı düşürülerek bu enerji geri alınır.

Termal Taş Depolama (Thermal Stone Storage): Yüksek ısı kapasitesine sahip taşlar kullanılarak çalışır. Isı, taşların ısınısını artırarak depolanır ve ihtiyaç duyulduğunda geri alınır.

Isı Pompaları (Heat Pumps): Dışarıdan düşük sıcaklıktaki bir ortamdan ısı alarak bu ısıyı yüksek sıcaklığa çevirir. Isı pompaları, ısıyı depolama amacıyla da kullanılabilir.

PCM (Phase Change Materials): Faz değişimi malzemeleri olarak da bilinir. Bu malzemeler, belirli bir sıcaklıkta faz değiştirerek enerjiyi depolar. Faz değişimi sırasında ısıyı emer veya serbest bırakır.

Buhar Depolama: Isı enerjisi, suyun buharlaşması ve buharın depolanmasıyla çalışır. Buharın tekrar yoğunlaştırılmasıyla depolanan enerji geri alınır.



Bu ısı enerji depolama teknikleri, farklı uygulama alanları için kullanılabilirler. Örneğin, eriyik tuz depolama genellikle büyük ölçekli termal güç santrallerinde kullanılırken, PCM malzemeleri küçük ölçekli taşınabilir uygulamalar için ideal olabilir.

8. SONUÇ

Bir enerji depolama sistemi, geleceğin teşvik edici teknolojilerinden biri olan akıllı şebeke konseptlerini mümkün kılacaktır. Enerji üretimleriyle ilgili dalgalanmaları ortadan kaldıran enerji depolama sistemleri, yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır. Enerji depolama sistemleri sistem güvenilirliğini destekleyerek yük izleme, dönüş rezervi, soğuk başlatma özelliği gibi bazı ek faydalar sağlar. Ayrıca, enerji depolama sistemleri tepe yüklerini ortadan kaldırmaya katkıda bulunarak jeneratör arızalarını azaltmaktadır. Depolanan enerji miktarı pik yükü telafi etmede önemli bir rol oynar. Bazı üretim birimlerinin kapasite faktörü bu şekilde artırılabilir, ayrıca düşük fiyatla depolanan enerji kullanımı için olumlu bir faktördür. Enerji depolama sistemleri, yeni teknolojilerin çeşitliliğine, değişen tüketici alışkanlıklarına, faaliyetlerine ve geçen on yılda elektrik üretiminin dönüşümlü mekanizmasına ve değişen dağıtım sistemine adaptasyon için kilit bileşen olarak görülmektedir. Ayrıca, şebeke performansında güvenilirlik, hızlı yanıt, yük eşleştirme yeteneği gibi birçok iyileştirme sağlamaktadır. Sürdürülebilirlik ve çevrenin korunması gibi enerji konularının önemli sorunları, bizi enerji kaynaklarını çeşitlendirmeye ve yenilenebilir enerji kullanımını artırmaya yöneltiyor. Yenilenebilir kaynakların kısa ve uzun dönemli dalgalanmalarından enerji/elektrik üretim miktarlarının değişimi, bazı kritik ölçümler gerektirir. Bu nedenle, enerji depolama, kolay yönetilebilirlik, kontrol edilebilirlik, öngörülebilirlik ve esneklik nedeniyle elektrik şebekesi sisteminin yanıt kapasitesini iyileştirmek için önemli ölçüde önemli hale gelir. Hayatımızın her alanında yer edinmiş olan batarya ve bunun gibi enerji depolama sistemleri teknolojinin geleceğini iyileştiren bir araştırma konusu olup gelişime en açık alanlardan birisidir.

KAYNAKLAR

- [1]- MIT Climate Portal. (2020, September 11). Energy storage. <https://climate.mit.edu/explainers/energy-storage>
- [2]- Yang, X., Lai, T., Zhang, Q. et al. Energy storage systems: a review. *Energy Storage Saving* 1, 166–216 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.enss.2022.07.002>
- [3]- He, W., King, M., Luo, X., Dooner, M., Li, D., & Wang, J. (2021). Technologies and economics of electric energy storages in power systems: Review and perspective. *Advances in Applied Energy*, 4, 100060. <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2021.100060>
- [4]- McNamara, W., Passell, H., Montes, M., Jeffers, R., & Gyuk, I. (2022). Seeking energy equity through energy storage. *The Electricity Journal*, 35(1), 107063. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2021.107063>
- [5]- Koochi-Fayegh, S., & Rosen, M. A. (2020). A review of energy storage types, applications and recent developments. *Journal of Energy Storage*, 27, 101047. <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101047>
- [6]- Hassan, Q., Sameen, A. Z., Salman, H. M., Jaszczur, M., & Al-Jiboory, A. K. (2023). Hydrogen energy future: Advancements in storage technologies and implications for sustainability. *Journal of Energy Storage*, 72(Part B), 108404. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.108404>
- [7]- Miller, M.A., Petrasch, J., Randhir, K., Rahmatian, N., & Klausner, J. (2021). Chemical energy storage. In A. Wörner & C. Sattler (Eds.), *Thermal, Mechanical, and Hybrid Chemical Energy Storage Systems* (pp. 249-292). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819892-6.00005-8>
- [8]- Revankar, S. T. (2019). Chemical energy storage. In H. Bindra & S. T. Revankar (Eds.), *Storage and Hybridization of Nuclear Energy* (pp. 177-227). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813975-2.00006-5>
- [9]- Agyekum EB, Nutakor C, Agwa AM, Kamel S. A Critical Review of Renewable Hydrogen Production Methods: Factors Affecting Their Scale-Up and Its Role in Future Energy Generation. *Membranes* (Basel). 2022 Feb 1;12(2):173. doi: 10.3390/membranes12020173. PMID: 35207094; PMCID: PMC8880752.



tmmob
makina mühendisleri odası

- [10]- F. Gutiérrez-Martín, L.M. Rodríguez-Antón, Power-to-SNG technology for energy storage at large scales, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 41, Issue 42, 2016, Pages 19290-19303, ISSN 0360-3199,
- [11]- Hannan, M. A., Wali, S. B., Ker, P. J., Rahman, M. S., Mansor, M., Ramachandramurthy, V. K., Muttaqi, K. M., Mahlia, T. M. I., & Dong, Z. Y. (2021). Battery energy-storage system: A review of technologies, optimization objectives, constraints, approaches, and outstanding issues. Journal of Energy Storage, 42, 103023.
- [12]- Jadhav, M. M., Dhinakaran, S., & Mohamad, A. A. (2022). Energy storage systems: a review. Energy Storage and Saving, 1(3), 136-147.



Yakıt Hücreleri ve Enerji Depolama (YHED)

Fuel Cells and Energy Storage (FCES)

A. Saim PAKER - Makine Mühendisi

M.M.O. İstanbul Şube Enerji Komisyonu Üyesi.

saimpkr@yahoo.com.

ORCID: 0000-0002-8237-924X

Özet

Enerjinin kullanım yerinde tüketilebilmesi için emre amade biçimde hazır bulundurulması enerji gerektiren tüm işlemlerde önemli bir aşamadır. Enerji her zaman üretildiği an tüketilemiyor. Depolanması bu noktada önem kazanıyor. Başka bir depolama ihtiyacı, frenleme enerjisi gibi kayıp enerjilerin geri kazanılması ile ilgili olabiliyor. Tüketim hızının üretim hızından daha büyük olduğu güneş enerji sistemlerinde olduğu gibi durumlarda da depolama ihtiyaçları gerekli olabiliyor. Depolama mekanik ya da kimyasal teknolojilerle yapılabilmektedir. Potansiyel ve kinetik olarak depolamak çözüm olsa da çoğu zaman daha az kayıpla daha uzun süre depolama kabiliyeti olan kimyasal enerjiyi çoğunlukla tercih ediyoruz. Günümüzde, üretim hızının yüksek olması ve nispeten kolay iletilebilmesi kullanımda bir ara aşama olarak enerjinin elektriğe dönüştürülmesi çoğu zaman tercih edilmektedir. Yakıt hücreleri de aynı elektriğin işlevine benzer biçimde uygulamalarda yer bulmaktadır.

Pil genellikle depolama aracı olarak Türkçe'mize yerleşmiştir. Yakıt pilleri bir üreteç olarak işlev görmektedir. Bu yazıda yakıt pil teknolojileri incelenmiş ve güncel teknolojiler ve uygulamalar hakkında araştırmacılara bilgi verilmiştir. Başlangıç bölümünde, yakıt pil teknolojileri anlatılmıştır. Alternatif yöntemler karşılaştırılarak avantaj ve dezavantajlar açıklanmıştır. Yazında FCES teknolojisinin tarihsel gelişimine de yer verilmiş, uygulamalardaki önemli kullanım biçimleri ele alınmıştır.

Makalenin amacı, bu konuda çalışmalar yürütecek tüm araştırmacılara araştırma planları yapmalarına yardımcı olmak için bilgi vermek ve yol göstermektir.

Summary

Keeping energy readily available for consumption at the place of use is an important step in all processes that require energy. Energy is not always consumed as soon as it is produced. Storage becomes important at this point. Another storage need may be related to the recovery of lost energies such as braking energy. Storage needs may also be necessary in cases where the consumption rate is greater than the production rate, such as in solar energy systems. Storage can be done with mechanical or chemical technologies. Although storing it potentially and kinetically is the solution, we often prefer chemical energy, which has the ability to store longer with less loss. Today, it is often preferred to convert energy into electricity as an intermediate stage in use, due to its high production rate and relatively easy transmission. Fuel cells also find a place in applications similar to the function of electricity.

The battery is generally settled in Turkish as a storage tool. Fuel cells act as a generator. In this article, fuel cell technologies were examined and researchers were informed about current technologies and applications. In the beginning part, fuel cell technologies are explained. Advantages and disadvantages are explained by comparing alternative methods. The historical development of FCES technology is also included in the literature, and important usage patterns in applications are discussed.

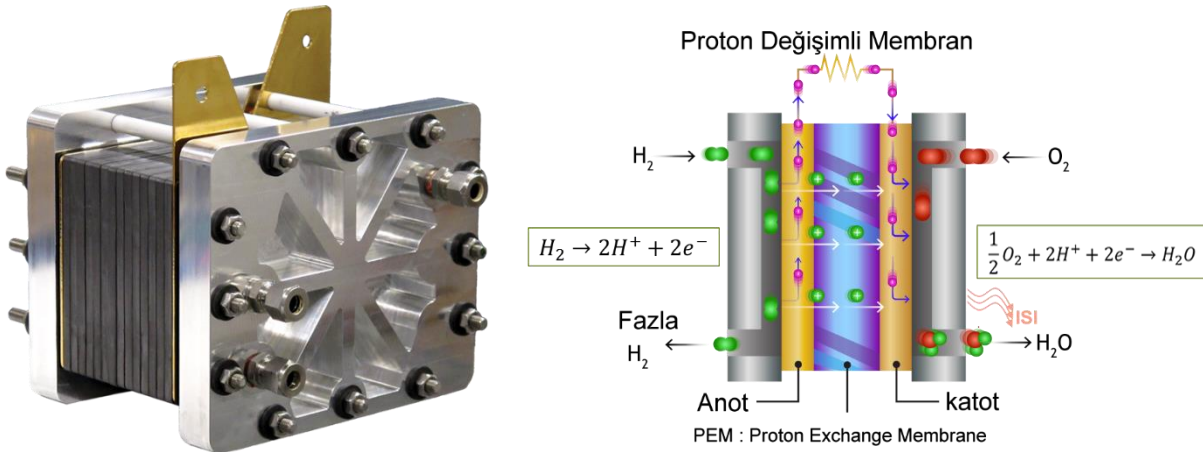
The aim of the article is to inform and guide all researchers who will conduct studies on this subject in order to help them make research plans.

Giriş

Yakıt hücreleri, verimli, ekonomik, sessiz ve çevre ile uyumlu enerji üretiminde kullanılan, gelecek te çok daha yaygın olarak kullanılacağı tahmin edilen önemli enerji üreteçlerindedir. Yakıt gazlarındaki kimyasal enerji; düşük enerjili, minimum hareketli parçalar içeren ve çevre kirliliğine sebep olmayan elektrokimyasal bir proseste elektrik enerjisine dönüştürür.

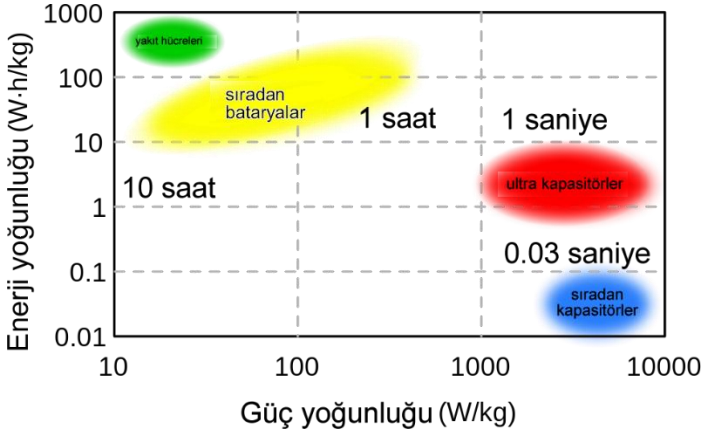
Kimyasal enerji ile elektrik sağlayan en temel ekipmanlara pil adı verilmektedir. İngilizcede hücre anlamında kullanılan kelime dilimizde pil olarak konumlanmıştır. Piller bir araya getirilerek ihtiyaca uygun enerji paketi oluştururlar. Bu pil paketlerine batarya adı verilir. Bir bataryada kimyasal enerji genellikle bünyesinde zaten bulunan maddelerden gelir. Yakıt hücreleri, dışarıdan içine aktarılan hidrojen ve oksijen sağlandığı sürece sürekli elektrik üretebilir. Dışarıdan sağlanan ürünlerle sürekli elektrik üretebilen bu yapıyı bünyesinde olan pillerden ayırmak için pek çok yazında genellikle hücre olarak adlandırmaktadırlar. [1]

Yakıt hücreleri; oksijeni oksitleyici, hidrojeni yakıt olarak bir katalizörde birleştirir. Kimyasal enerjiyi bir çift redoks reaksiyonu yoluyla elektriğe dönüştürebilen elektrokimyasal yapıdadır. Üretilen elektrik enerjisi ile elektrik motorunu çalıştırmak günümüz teknolojileriyle mümkündür. Yakıt hücreleri artık, ticari, endüstriyel ve konut binaları için ve uzak veya erişilemeyen alanlarda birincil ve/veya yedek güç olarak kullanıldıkları



Şekil 1 Yakıt pili iç yapısı ve dış görünümüne bir örnek [14]

gibi forkliftler, otomobiller, otobüsler, trenler, tekneler, motosikletler ve denizaltılar dahil olmak üzere yakıt hücreli araçlara güç sağlamak için de kullanılmaktadırlar. [1]

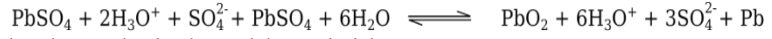
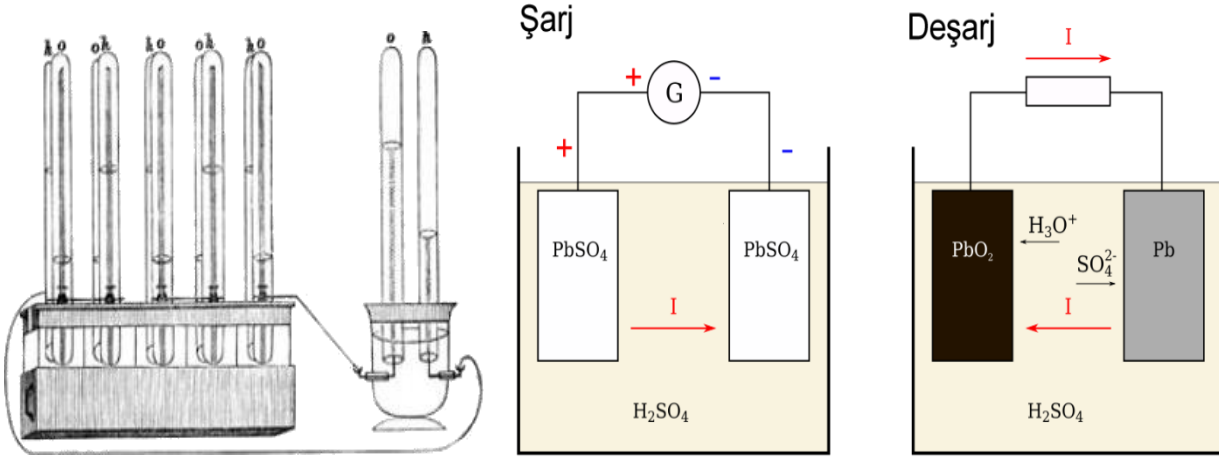


Şekil 2 Güç ve enerji yoğunluğu görünümü [2]

Güç yoğunluğunu ağırlık başına enerji depolama miktarı olarak tanımlayabiliriz. Yakıt hücreleri enerji yoğunluğu ölçeğinde bir enerji üretici ekipman olarak yeni teknolojiler açısından iyi durumdadırlar. Ancak güç yoğunlukları açısından hâlâ geliştirilmeye ihtiyaçları vardır.

Tarihçe

Yakıt pili teknolojisinin 150 yıllık bir geçmişi vardır. Hidrojen yakıt hücrelerine yapılan ilk referanslar 1838'de ortaya çıkmıştı. Ekim 1838 tarihli The London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science'm Aralık 1838 sayısında yayınlanan bir mektupta, Galli fizikçi ve avukat Sir William Grove ilk ham yakıt hücrelerinin gelişimi hakkında bir yazdı yayınladı. Bu yazısındaki modellemede sac, bakır ve porselen plakaların bir kombinasyonunu ve bakır sülfat ve seyreltik asit çözeltisini kullandı. Grove, elektrolizle su hidrojen ve oksijene ayrılabilmesine göre, bunun tersinin de gerçekleşebileceğini, yani hidrojen ve oksijenin birleştirilerek elektrik üretilebileceği varsayımından hareketle, daha sonra 'yakıt pili' olarak adlandırılacak olan ilk gaz yakıt hücrelerini yaptı. Grove nitrik asite daldırılmış bir platin elektrotla çinko sülfata daldırılmış bir ve çinko elektrot kullanarak 12 amper ve ~1.8 voltluk akım veren bir pil yapabildi. 1893 de Friedrich Wilhelm Ostwald elektrotlar, elektrolit, oksidasyon ve redüksiyon maddeleri, anyonlar ve katyonlarla ilgili ilişkileri deneysel olarak saptayabildi. Daha sonra William White Jaques elektrolit banyosunu fosforik asitle değiştirdi ve bu sisteme "Yakıt Hücresi" adını verdi. 1920'li yıllarda Almanya'da çeşitli araştırmalar yapıldı, karbonat saykılı ve katı oksit yakıt pilleri üzerinde çalışıldı. [3]



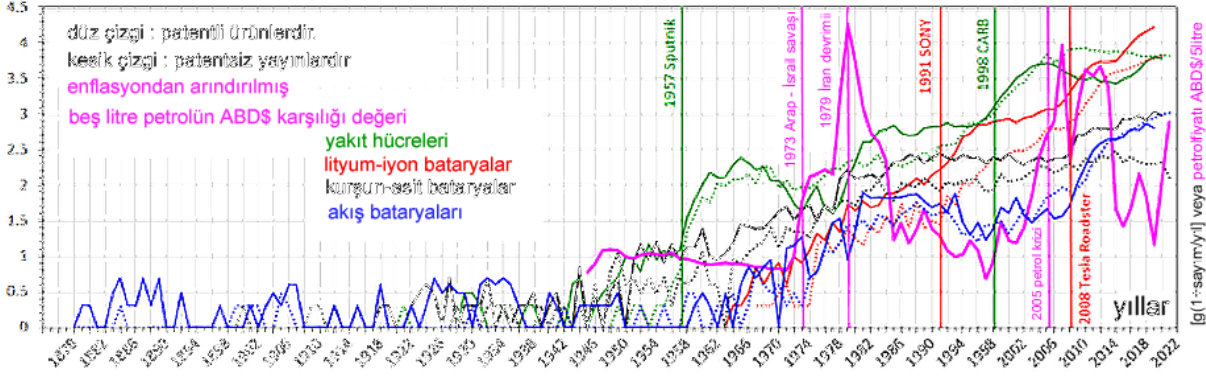
Şekil 3 Sir William Grove'un 1839 yakıt hücrelerinden elde ettiği batarya. [3]

Alman fizikçi Christian Friedrich Schönbein, Aralık 1838'de aynı yayına yazdığı ancak Haziran 1839'da yayınlanan yazısında, icat ettiği ilk ham yakıt hücresini anlatmıştı. Yazısında, suda çözünen hidrojen ve oksijenden üretilen akımı tanıtmıştı. Grove daha sonra 1842'de aynı dergide tasarımını çizdi. Yaptığı yakıt hücresi, bugünün fosforik asit yakıt hücresine benzer malzemeler kullanmıştı. [3]

1955 yılında, General Electric Company (GE) için çalışan bir kimyager olan W. Thomas Grubb, elektrolit olarak sülfatlanmış bir polistiren iyon değişim membranı kullanarak orijinal yakıt hücresi tasarımını daha da geliştirdi. Üç yıl sonra, başka bir GE kimyageri Leonard Niedrach, gerekli hidrojen oksidasyonu ve oksijen indirgeme reaksiyonları için bir katalizör görevi gören membran üzerine platin biriktirmenin bir yolunu buldu. Bu, günümüzde "Grubb-Niedrach yakıt hücresi" olarak anılmaktadır. GE, NASA ve McDonnell Aircraft ile bu teknolojiyi geliştirmeye devam ettiler. İlk olarak İkizler Projesi sırasında kullanılan bu model yakıt hücresinin ilk ticari kullanımı oldu. [3]

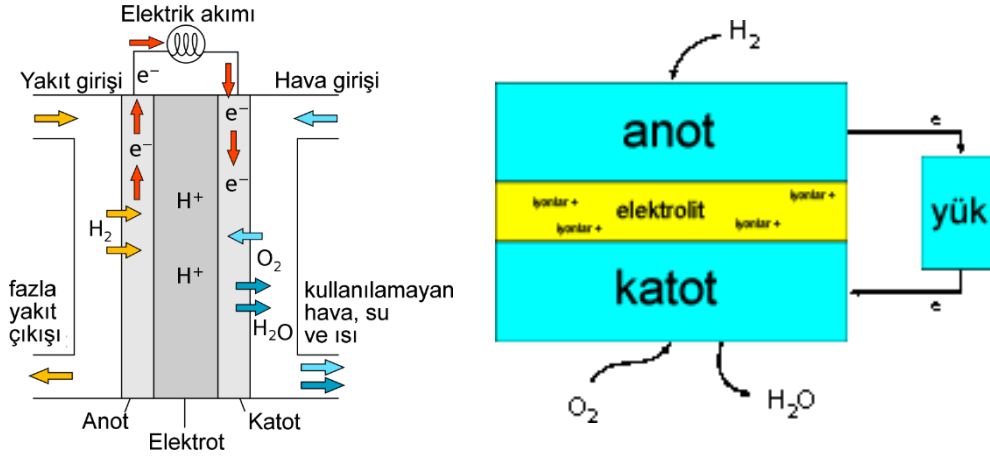
1959'da Harry Ihrig liderliğindeki bir ekip, Allis-Chalmers için 15 kW'lık bir yakıt hücreli traktör inşa etti ve bu traktör ABD'de devlet fuarlarında sergilendi. Bu sistem elektrolit olarak potasyum hidroksit ve reaktanlar olarak sıkıştırılmış hidrojen ve oksijeni kullanmaktaydı. 1959'da Bacon ve meslektaşları, bir kaynak makinesine güç sağlayabilen pratik bir beş kilowatt'lık ünite geliştirdiler. 1960'larda Pratt & Whitney, Bacon'ın ABD patentlerini elektrik ve içme suyu sağlamak için ABD uzay programında kullanılmak üzere lisansladı (hidrojen ve oksijen, uzay aracı tanklarından kolayca temin edilebilir). Uzay çalışmalarında yakıt hücrelerinin tercih edilmesinde; yüksek verim, düşük gürültü ve titreşim, yüksek enerji yoğunluğu gibi avantajlar önemlidir. İlk olarak Gemini uzay aracında General Elektrik tarafından üretilen proton değişim membran yakıt hücresi kullanılmıştır. 1970'li yıllarda General Motor "Elektrovan" adlı yakıt hücresiyle çalışan bir araç geliştirmiştir. 1970'li yıllarda devlet destekli yakıt hücresi araştırmaları başlamış ve bu amaçla Los Alamos Ulusal Laboratuvarı ve Brookhaven Ulusal Laboratuvarları kurulmuştur. 1991 yılında, ilk hidrojen yakıt hücreli otomobil Roger E. Billings tarafından geliştirilmiştir. Daha sonraki dönemde UTC Power, hastanelerde, üniversitelerde ve büyük ofis binalarında kojenerasyon santrali olarak kullanılmak üzere büyük, sabit bir yakıt hücresi sistemi üreten ve ticarileştiren ilk şirket olmuştur. [3]

Yakıt hücresi endüstrisinin ve ABD'nin yakıt hücresi gelişimindeki rolünün tanınmasıyla, Amerika Birleşik Devletleri Senatosu 8 Ekim 2015'i Ulusal Hidrojen ve Yakıt Hücresi Günü olarak kabul etti. Böylece hidrojen teknolojileri dünya gündeminde daha fazla yer almaya başladı.



Şekil 4 Hidrojen teknolojilerinin zaman çizelgesi [4]

Şekil 4’de kesikli ve düz siyah çizgi elektrokimyasal güç kaynakları ile ilgili yayın sayılarının yıllara göre günlük sayısı, ayrıca magenta renkli çizgisi olarak gösterilen, doğrusal ölçekte ABD doları / 5 litre cinsinden enflasyona göre ayarlanmış petrol fiyatını vermektedir.



Şekil 5 Basit yakıt hücresinin blok diyagramı ve çalışma prensibi [12]

Yakıt Hücresi Nedir? [5]

Yakıt hücrelerinin en önemli uygulaması uzay araçlarında başlıca enerji kaynağı olarak kullanılmalarıdır. H₂-O₂ yakıt hücrelerinin insanlı uzay araçlarında kullanımı; içme ve soğutma amaçlı olarak saf suyun üretimini sağlamaktır. Nüfusu yoğun olan bölgelerde bile yakıt hücrelerini baz alan güç istasyonları kurulabilmektedir. Yakıt hücrelerinin; düşük emisyon ve gürültü seviyeleri ile H₂'nin temel enerji kaynağı olması durumundaki yüksek verimlilikleri nedeniyle yakın gelecekte önemli rol oynayacağı tahmin edilmektedir.

Birçok yakıt hücresi türü vardır, ancak hepsi Şekil 5’de görüldüğü gibi bir anot, bir katot ve genellikle pozitif yüklü hidrojen iyonlarının (protonlar) yakıt hücresinin iki tarafı arasında hareket etmesine izin veren bir elektrolitten oluşur.

Anotta, bir katalizör, yakıtın genellikle pozitif yüklü hidrojen iyonları ile etkileşerek elektronlar üreten oksidasyon reaksiyonlarına girmesine neden olur. İyonlar, elektrolit yoluyla anottan katoda doğru hareket ederler. Aynı zamanda, elektronlar anottan katoda harici bir devre yoluyla akar böylece elektrik doğru akım olarak üretilir. Bu sırada katotta, başka bir katalizör iyonların, elektronların ve oksijenin reaksiyona girmesine neden olarak su ve muhtemelen diğer ürünleri oluşmasına neden olur.



Yakıt hücreleri, kullandıkları elektrolit türüne ve proton değişim membranına göre, 1 saniyeden katı oksit yakıt hücreleri (PEM yakıt hücreleri veya PEMFC), 10 dakikaya kadar (SOFC yakıt hücreleri) değişen başlangıç süresindeki farka göre sınıflandırılır.

Tekil yakıt hücreleri, yaklaşık 0,7 volt olan nispeten küçük elektrik potansiyelleri üretir, bu nedenle hücreler, bir uygulamanın gereksinimlerini karşılamak için yeterli voltaj oluşturmak için "istiflenir" ve seri olarak bağlanırlar.

Elektriğe ek olarak, yakıt hücreleri su buharı, ısı ve yakıt kaynağına bağlı olarak çok az miktarda azot dioksit ve diğer emisyonlar üretir. PEMFC hücreleri genellikle SOFC hücrelerinden daha az azot oksit üretir: daha düşük sıcaklıklarda çalışırlar, yakıt olarak hidrojen kullanırlar ve NOx'i oluşturan proton değişim membranı aracılığıyla azotun anota difüzyonunu sınırlarlar.

Bir yakıt hücresinin enerji verimliliği genellikle % 40 ila % 60 arasındadır;

Yakıt Hücreleri Nasıl Çalışır? [6]

Yakıt gazlarındaki kimyasal enerji; düşük enerjili, minimum hareketli parçalar içeren ve hava kirliliğine sebep olmayan elektrokimyasal bir proseste elektrik enerjisine dönüştürülür. Yakıt hücreleri düşük gürültü seviyesinde, az kirlenici ürün açığa çıkararak yüksek verimle çalışabilmektedirler, tek yan ürün saf sudur. Yakıt hücreleri piller gibi çalışır, ancak tükenmezler veya şarj edilmeleri gerekmez. Yakıt sağlandığı sürece elektrik ve ısı üretirler.

Bir yakıt hücresi, bir elektrolit etrafına sıkıştırılmış iki elektrottan (negatif elektrot (veya anot) ve pozitif bir elektrottan (veya katot) oluşur. Hidrojen gibi bir yakıt anota beslenir ve hava katotta beslenir. Bir polimer elektrolit membran yakıt hücresinde, bir katalizör hidrojen atomlarını katoda farklı yollar izleyen protonlara ve elektronlara ayırır. Elektronlar harici bir devreden geçerek bir elektrik akışı oluşturur. Protonlar elektrolitten katoda göç eder, burada su ve ısı üretmek için oksijen ve elektronlarla yeniden birleşirler.

Bir yakıtın kimyasal enerjisinin geleneksel yöntemlerle elektrik enerjisine dönüşümü ısı motorlarına dayanır. Bu makinelerin direkt enerji dönüşümü prensibine göre çalışır:

- Önce ısı üretilir
- Bu ısı mekanik enerjiye çevrilir
- Son olarak da elektrik enerjisine dönüştürülür. (Şekil 6)

Teorik enerji verimi η_{maks}^c tüm bu prosesin Carnot faktörüyle tayin edilebilir. [6]

$$\eta_{maks}^c = \frac{\text{üretilen enerji}}{\text{giren enerji}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

İş ortamının giriş sıcaklığı T_1 , çıkış sıcaklığı T_2 'den daha yüksektir, aradaki fark verimin %100'den sapma derecesini belirler. Carnot verimi tüm enerji dönüştürücüleri için geçerlidir. Çoğu sistemlerde ancak %30-40 verim hesaplanırken, geliştirilmiş sistemlerde %55-60'lara kadar verim yükselebilir. Verimin teorik değerden önemli derecelerde sapması dönüşüm prosesleri sırasındaki enerji kayıplarına bağlıdır. Bu bakımdan yakıt hücresi, termomekanik enerji dönüşümü ile rekabet edebilecek bir sistemdir.



Şekil 6 Kimyasal enerjinin elektrik enerjisine değişik dönüşüm yolları [6]

Yakıt hücresi bir yakıtın kimyasal enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren elektrokimyasal bir mekanizmadır (Şekil 6). Bataryalara benzer şekilde yakıt hücreleri de düşük-voltajlı doğru akım üretir. Yakıt hücrelerinde (içten yanmalı motorlarda olduğu gibi) ise hücre sürekli olarak yakıtla beslenir; bu durumdaki enerji dönüşüm verimi; [6]

$$\eta = \frac{\text{üretilen enerji}}{\Delta H} \times 100$$

DH, yanma reaksiyonunun entalpi değişikliğini gösterir. Serbest reaksiyon entalpisi DG ise doğrudan elektrik enerjisine dönüşen miktardır. Bu durumda maksimum teorik verim η_{maks} , [6]

$$\eta_{maks} = \frac{\Delta G}{\Delta H} \times 100$$

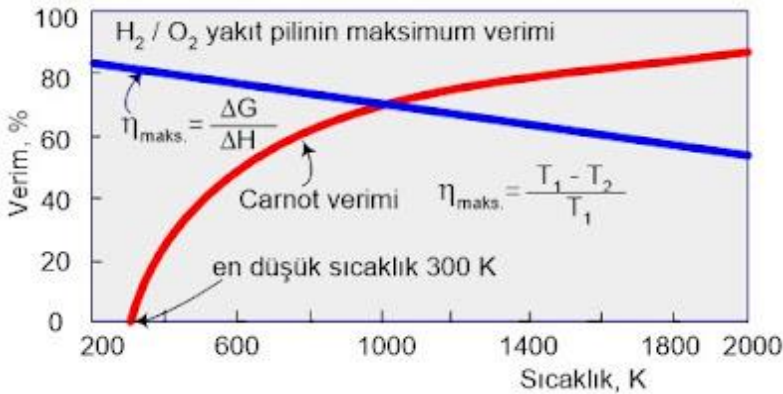
DG pilin çalışma sıcaklığındaki serbest reaksiyon entalpisi, ΔH_0 standart reaksiyon entalpisi, DS ise hücre içi reaksiyon entropi değişimidir. [6]

$$\Delta G = \Delta H - (T_1 - T_2) \times \Delta S$$

Böylece

$$\eta_{maks} = \frac{\Delta H - (T_1 - T_2) \times \Delta S}{\Delta H} \times 100$$

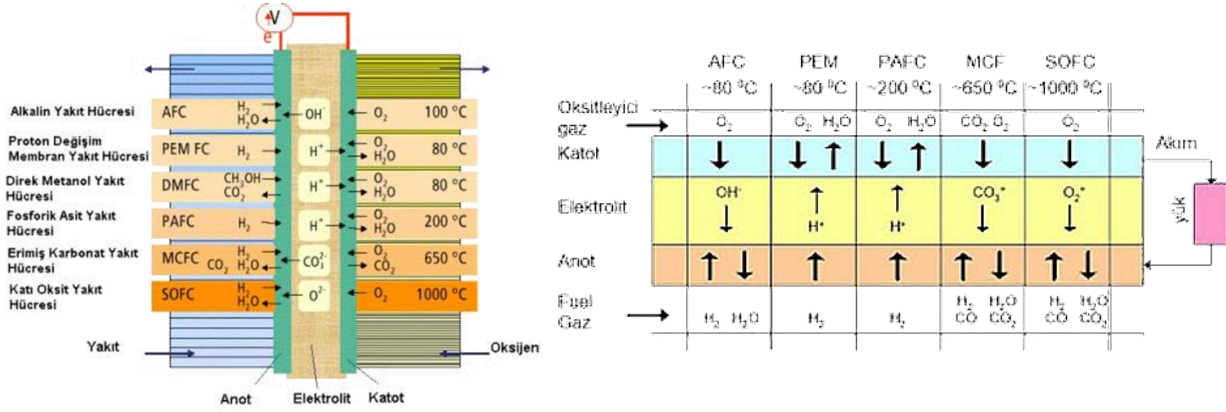
Bu durumda reaksiyon entropisi DS in işaretine göre verim %100 den küçük, eşit veya büyük olabilir. Büyük olduğunda çevreden ısı alınır. Yakıt pili teorik doğrudan DC doğru akım voltajında (Erev) elektromotor güç ile akım verir. 1 bar basınç ve 25°C sıcaklıkta bu reaksiyonun DC gerilimi 1.229 voltur. voltaj sıcaklığın bir fonksiyonudur. Şekil 7'de Carnot prosesi ve yakıt pili prosesiyle üretilen enerjiler kıyaslanmıştır.



Şekil 7 Yakıt pilleri için termodinamik verim ve ısı motorları için Carnot verimi [6]

Yakıt Hücresi Tipleri [6]

Tüm yakıt hücrelerinin temel işlemleri aynı olmasına rağmen, farklı elektrolitlerden yararlanmak ve farklı uygulama ihtiyaçlarına hizmet etmek için farklı yapılarda geliştirilmişlerdir. Yakıt ve elektrolitten akan yükler farklı olabilir, ancak prensipleri aynıdır. Anotta bir oksidasyon meydana gelirken, katotta bir azalma meydana gelir. İki reaksiyon, elektrolit ve dış devreden akan elektronlar boyunca akan yük oluştururlar.



Şekil 8 Yakıt hücresi tipleri yapı ve basit anlatımları [6]

H₂; katottaki oksijenin indirgenmesiyle birlikte anotta yükseltgenir. Bunun yanı sıra yakıt hücresinde metanol, su ve CO₂'ye veya CO; CO₂'ye dönüşebilmektedir.

Yakıt hücre sistemleri genellikle kullanılan elektrolite göre sınıflandırılırlar (Şekil 6),

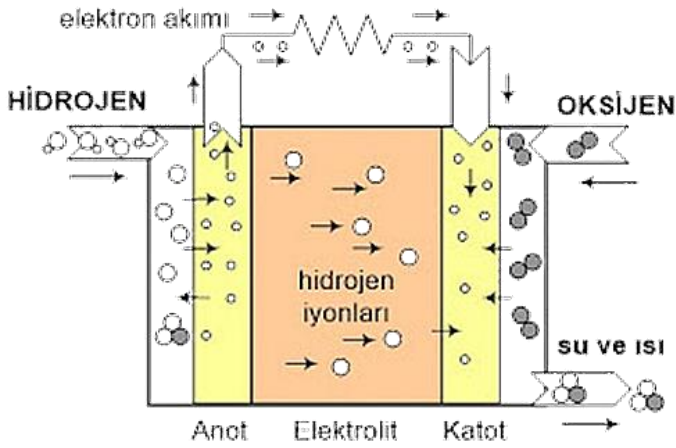
- Proton değişim membran yakıt hücreleri. (PEMFC)
Thomas Grubb, Leonard Niedrach, General Electric (1960'ların başları); General Electric (1970'ler); The British Royal Navy (1980); Los Alamos National Lab and Texas A&M University (1980-1990'lar)
- Alkali- bazik yakıt hücreleri. (AFC)
Francis Thomas Bacon, Britanya (1930 sonları); U.S. Air Force destekli, Allis-Chalmers Traktörleri (1959); Union Carbide (1950 sonları-1960)
- Erimiş karbonat yakıt hücreleri. (MCFC)
Emil Baur, H. Preis, İsviçre (1930'lu yılların sonu); O. K. Davtyan, Rusya; (1940'lar); G. H. J. Broers, J. A. A. Ketelaar, Hollanda; (1950'li yılların sonu, 1960); Francis T. Bacon (1960); Texas Instruments (1964)
- Fosforik Asit yakıt hücreleri. (PAFC)
William Grove (1839-1842); G. V. Elmore ve H. A. Tanner (1961); California Research Corporation; Surface Processes Research and Development Corporation (1963); George J. Young (1959 - 1961); Karl Kordes, R. F. Scarr, Union Carbide (1960-1970)
- Katı oksit yakıt hücreleri. (SOFC)
Emil Baur, H. Preis, İsviçre (1930'lu yılların sonları); O. K. Davtyan, Rusya (1940'lar); Central Technical Institute, Hollanda (1950'li yılların sonları), Consolidation Coal Company, Pennsylvania (1959); General Electric, New York (1959)
- Doğrudan Metanol Yakıt Hücreleri (DMFC)

Günümüz yeniliklerindedir. **Proton değişim membranlı yakıt hücresi**'nin alt kategorisidir. Metanol (**metanol** (CH₃OH)) yakıt olarak doğrudan hücreyi besler. Metanolün depolanması **hidrojene** nazaran daha kolaydır, zira yüksek basınç ve düşük sıcaklık gibi şartlar gerektirmez (metanol -97.0 °C ile 64.7 °C arasında sıvıdır).

- Çinko-Hava kullan-at yakıt hücreleri (ZAFC)
Günümüz yeniliklerindedir.

Proton Değişim Membran Yakıt Hücreleri (PEMFC)

Proton değişim membranı yakıt hücreleri olarak da adlandırılan polimer elektrolit membran (PEM) yakıt hücreleri, elektrolit olarak proton iletken bir polimer membran kullanır. Hidrojen yakıt olarak kullanılır. Bu hücreler nispeten düşük sıcaklıklarda çalışır ve değişen güç taleplerini karşılamak için çıkışlarını hızla değiştirebilir. PEM yakıt hücreleri, otomobillere güç sağlamak için en iyi adaylardır. Sabit güç üretimi için de kullanılabilirler. Bununla birlikte, çalışma sıcaklıkları nedeniyle, doğal gaz, sıvılaştırılmış doğal gaz veya etanol gibi hidrokarbon yakıtları doğrudan kullanamazlar. Bu yakıtların bir PEM yakıt hücresi tarafından kullanılabilmesi için yakıtın işlenerek hidrojene dönüştürülmesi gerekir.



Şekil 9 PEM Yakıt hücresi yapısı

Bu sistemlerde proton geçirgen polimerik membran elektrolit olarak kullanılmaktadır. Kullanılan membranlar yaklaşık 50 mm kalınlığındadır. Elektrot reaksiyonları asidik yakıt hücre sistemlerindeki gibidir. Katalizör olarak platin Pt içeren karbon elektrotlar proton değiştirici membranın iki yüzeyine preslenmiştir. Bir diğer yaklaşım ise hidrojeni difüzyon ve diğer gazların geçişine izin vermeyen paladyum ya da paladyum-gümüş membranların kullanılmasıdır. Proton değişim membran yakıt hücrelerinin çalışma sıcaklığı yaklaşık olarak 80-100°C'dir.

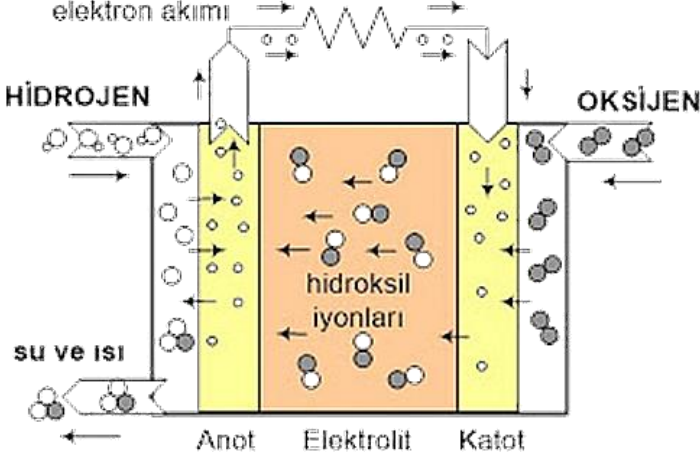
anot reaksiyonu: $H_2 + 2Pt \rightarrow 2Pt-H$ $2Pt-H \rightarrow 2Pt + 2H^{++} + 4e^-$ $2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$

katot reaksiyonu: $4e^- + 4H^+ + O_2 \rightarrow 2H_2O$

hücre reaksiyonu: $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

Alkali, Bazik Yakıt Hücreleri (AFC) [6]

Alkali yakıt hücreleri, potasyum hidroksit gibi bir alkali elektrolit veya protonlar yerine hidroksit iyonlarını ileten bir alkali membran kullanır. Başlangıçta Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından uzay görevlerinde kullanılan alkali yakıt hücreleri artık taşınabilir güç gibi yeni uygulamalar söz konusudur.



Şekil 10 Alkali yakıt hücresi yapısı [6]

Alkali, Bazik yakıt hücrelerinde ağırlıkça 30-45% KOH elektrolit olarak kullanılmaktadır. Bu hücreler oda sıcaklığında çalışırlar ve diğer yakıt hücreleriyle karşılaştırıldıklarında daha yüksek voltaj verimi elde edebilirler

anot reaksiyonu: $2\text{H}_2 (\text{g}) + 4\text{OH}^- (\text{l}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} (\text{l}) + 4\text{e}^-$

katot reaksiyonu: $\text{O}_2 (\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O} (\text{l}) + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^- (\text{aq})$

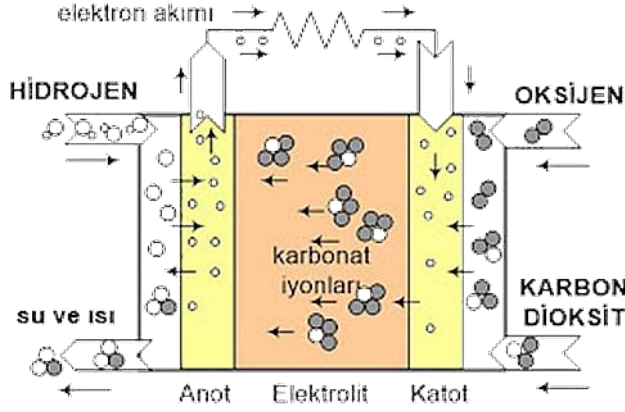
hücre reaksiyonu: $2\text{H}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} (\text{l})$

(g) gaz, (ag) hava-gaz, (l) sıvı fazları temsil eder.

Bazik ortamda karbondioksit karbonata dönüştüğünden dolayı, gaz girişinde CO_2 bulunmasına izin verilmemektedir. Poröz (hava geçirgen) nikel anot ve katotla kullanılmaktadır. Bazı uygulamalarda platin Pt katalizör elektrotlar üzerine konularak kullanılmaktadır. Bazı hücreler yaklaşık 200°C 'de ve yüksek basınçlarda çalışabilmektedir. AFC sistemleri uzay gemilerinde, elektrikli araçlarda ve denizaltılarda kullanılmaktadır. Bu tür yakıt hücrelerinde uzun çalışma ömrüne ulaşılabilir. Kullanılan pahalı katalizörlerden, hidrojenin sıvılaştırılması ve sıkıştırılması için ekstra enerji tüketiminden ve saf hidrojenin pahalı olmasından dolayı bu tür yakıt hücreleri yüksek maliyetlidir.

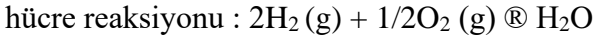
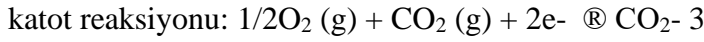
Erimiş Karbonat Yakıt Hücreleri (MCFC) [6]

Erimiş karbonat yakıt hücreleri, karbonat iyonlarını elektrolit olarak ileten gözenekli bir matriste hareketsiz hale getirilmiş erimiş bir karbonat tuzu kullanır. Yüksek verimliliklerinin net enerji tasarrufu sağladığı çeşitli orta-büyük ölçekli sabit uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Yaklaşık 600°C yüksek sıcaklıkta çalışmaları doğal gaz ve biyogaz gibi yakıtları dahili olarak reforme etmelerini sağlar.



Şekil 11 Erimiş karbonat yakıt hücresinin yapısı [6]

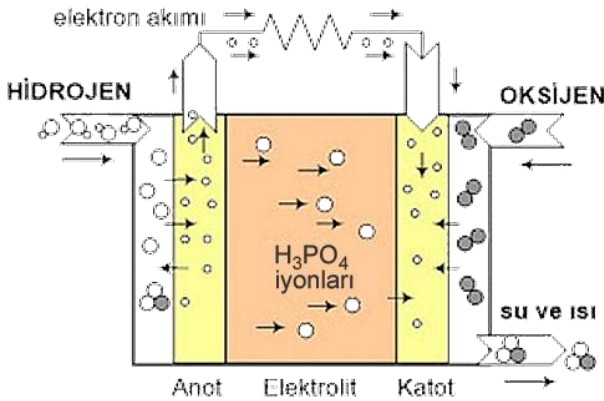
MCFC sistemlerinde elektrolit olarak LiAlO_2 matrisi üzerine sabitlenmiş erimiş lityum-potasyum karbonat karışımı kullanılmaktadır. Sistemde meydana gelen reaksiyonlar:



Bu tür yakıt hücre sistemlerinin çalışma sıcaklığı $500-700^\circ\text{C}$ arasındadır. Bu sıcaklıklarda elektrotları aktifleyen platin Pt gibi katalizörler kullanılmaktadır. Hidrokarbonlar yakıt olarak kullanıldıklarında hücrede direk olarak beslenirler ve burada hidrojen içeren gazlara dönüşürler. Yakıt hücresinin dayanımı önemli bir problemdir. Hücresinin yapımında kullanılacak düşük maliyetli materyallerin bulunması da karşılaşılan önemli bir zorluktur.

Fosforik Asit Yakıt Hücreleri (PAFC) [6]

Fosforik asit yakıt hücreleri, gözenekli bir matris içinde tutulan protonları ileten ve yaklaşık 200°C 'de çalışan bir fosforik asit elektroliti kullanır. Genellikle 400 kW veya daha yüksek modüllerde kullanılırlar ve atık ısının da kullanılacağı otellerde, hastanelerde, marketlerde ve ofis binalarında sabit güç üretimi için kullanılırlar. Fosforik asit polimer membranlarda da hareketsiz hale getirilebilir ve bu membranları kullanan yakıt hücreleri çeşitli sabit güç uygulamaları için ilgi çekicidir.



Şekil 12 Fosforik asit hücre yapısı [6]

Bu hücrelerde ince silikon karbür matris içindeki fosforik asit elektrolit olarak kullanılmaktadır. Asidik ortamda meydana gelen reaksiyonlar:

anot reaksiyonu: $H_2 (g) \rightarrow 2H^+ (aq) + 2e^-$

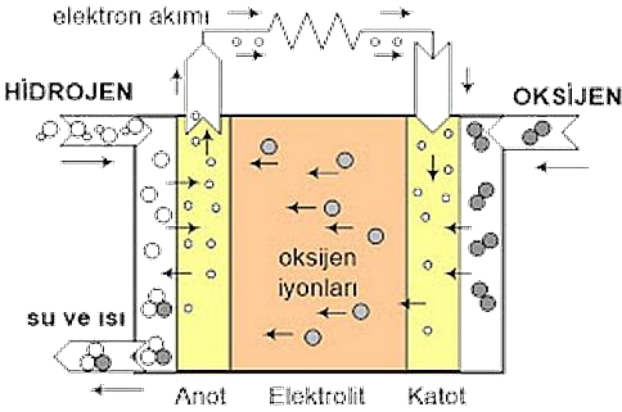
katot reaksiyonu: $1/2O_2 (g) + 2H^+ (aq) + 2e^- \rightarrow H_2O$

hücre reaksiyonu: $2H_2 (g) + 1/2O_2 (g) \rightarrow H_2O$

Kullanılan elektrolit kararlıdır ve bu hücreler karbondioksit içeren hava ile de çalışabilirler. Sistemin çalışma sıcaklığı yaklaşık olarak 170-200°C arasındadır. Oldukça yüksek çalışma sıcaklıkları katalizörlerin CO ile zehirlenmesini azaltır. Sistem oldukça düşük maliyetlidir ve yaklaşık olarak 40000 saat çalışma ömrüne ulaşılabilir.

Katı Oksit Yakıt Hücreleri [6]

Katı oksit yakıt hücreleri, oksit iyonlarını ileten katı bir elektrolit olarak ince bir seramik tabakası kullanır. Çeşitli sabit güç uygulamalarında ve ayrıca ağır hizmet kamyonları için yardımcı güç cihazlarında kullanılmak üzere geliştirilmektedirler. Zirkonya bazlı elektrolitlerle 700 ° C - 1.000 ° C'de ve eria bazlı elektrolitlerle 500°C'ye kadar düşük bir sıcaklıkta çalışan bu yakıt hücreleri, doğal gaz ve biyogazı dahili olarak reforme edebilir ve % 75'e kadar yüksek elektrik verimliliği üretmek için bir gaz türbini ile birleştirilebilir.



Şekil 13 Katı oksit yakıt hücresi yapısı [6]

Bu tür yakıt hücrelerinde elektrot ve elektrolit arası kararlı itriyum oksit ya da zirkonyum gibi katı oksit seramik bir materyalden yapılmıştır. Bu materyaller 800°C'nin üstünde O^{2-} iyonlarını iletirler. Eğer hücre 900°C civarında çalışıyorsa meydana gelen reaksiyonlar:

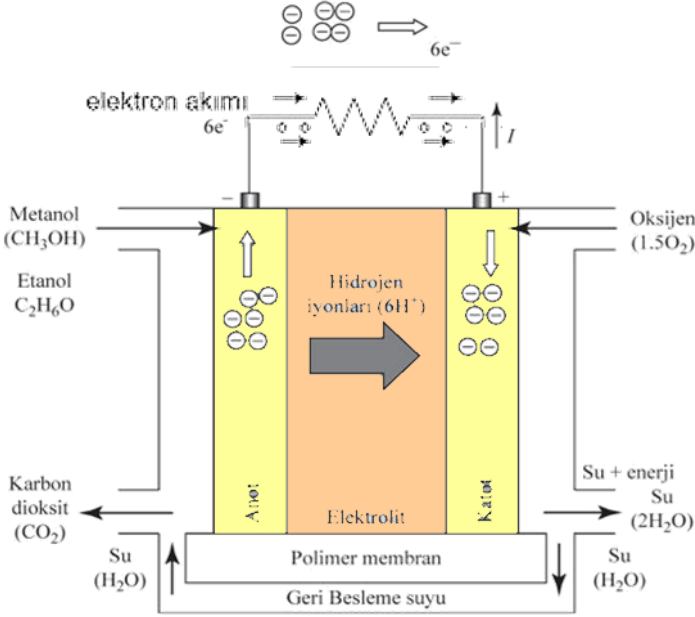
anot reaksiyonu: $aH_2 (g) + bCO (g) + (a+b) O^{2-} \rightarrow bCO_2 (g) + aH_2O + 2(a+b) e^-$

katot reaksiyonu: $1/2(a+b) O_2 (g) + 2(a+b) e^- \rightarrow (a+b) O^{2-}$

hücre reaksiyonu: $1/2(a+b) O_2 (g) + aH_2 (g) + bCO (g) \rightarrow aH_2O(g) + bCO_2 (g)$

Doğrudan Metanol Yakıt Hücreleri (DMFC) [6]

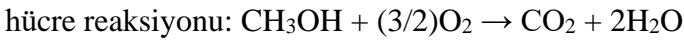
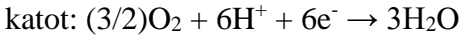
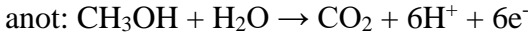
Doğrudan metanol yakıt hücresi (DMFC), elektrolit olarak proton iletken bir polimer membran kullanması nedeniyle PEM hücresine benzer. Bununla birlikte, DMFC'ler metanolü doğrudan anot üzerinde kullanır ve bu da bir yakıt reformcusuna olan ihtiyacı ortadan kaldırır. DMFC'ler, dizüstü bilgisayarlar ve pil şarj cihazları gibi taşınabilir elektronik cihazlara güç sağlamak için ilgi çekicidir. Metanol, hidrojenden daha yüksek bir enerji yoğunluğu sağlar, bu da onu taşınabilir cihazlar için çekici bir yakıt haline getirir.



Şekil 14 Doğrudan Metanol oksit yakıt hücresi yapısı [7]

DMFC'nin bir zarla ayrılmış iki elektrodu vardır: bir anot ve bir katot. Oksijen ile birleştiğinde, **metanol yakıt hücresi** yakıtı (metanol) enerjiye, dolayısıyla isme dönüştürür. Yanmanın tek yan ürünleri ısı, su ve eser miktarda CO₂'dir.

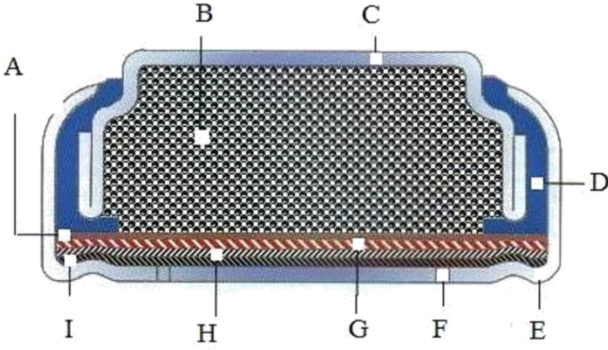
Meydana gelen reaksiyonlar:



DMFC santralleri yerleşik tesisler olarak kurulur ve belirli bir tesisin enerji tedarikinde kullanılırlar. Metanol üretimi ve rejenerasyonu bu tesisin yerleşik olarak kurulmasını gerekli kılmaktadır.

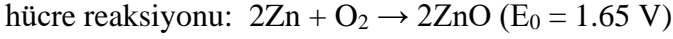
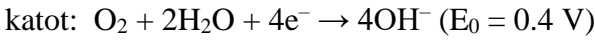
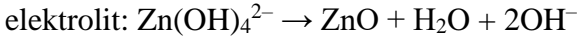
Çinko-Hava Yakıt Hücresi [6]

Çinkonun, havanın oksijeni ile oksidasyonu yoluyla çalışırlar. Yüksek enerji yoğunluğuna sahiptirler ve üretilmeleri ekonomiktir. İşitme cihazlarında ve elektrikli araçlarda kullanılırlar. Bu yakıt hücrelerinin üzerinde çinko tozunu oksitleyecek havanın gireceği bir delik bulunur. Satın alındığında bu delik bir bant ile kapanmıştır. Bant kaldırıldıktan birkaç dakika sonra hücre elektrik üretmeye başlar ve yaklaşık olarak 1 ay süre ile enerji üretmeye devam eder. Bu hücrelerin ömürleri harcanan elektrikten ziyade üzerlerindeki deliğin açılarak hava girişine izin verilmesi ile ilgilidir. Yani delik açıldıktan sonra hiç kullanılmasa bile 1 ay kadar sonra tükenecektir. Hücreden akım çekmek, ömrünü çok fazla etkilemeyecektir. Zaten istense de derhal iç direnci yükseleceği için çok fazla akım çekilemez.



Şekil 15 Bir çinko-hava düğme pili kesiti. A: Ayırıcı, B: Toz çinko anot ve elektroliti, C: Anot kılıfı, D: İzolasyon contası, E: Katot kılıfı, F: Hava girişi, G: Katot katalizörü ve akım kollektörü, H: Hava paylaştırıcısı, I: Yarı geçirgen membran [8]

Bir ZAFK'deki anot, konsantre potasyum hidroksit içine batırılmış çinko parçacıklarının bir yatağıdır. Anot, iki taraftan onu çevreleyen katotlardan çıkarılabilen bir kaset olarak tasarlanmıştır. Yakıt hücresi çalışırken, hidroksit iyonları oluşturmak için katotta indirgenerek havadan oksijen çıkarılır. Bu iyonlar daha sonra çinko oksit ve elektron üretmek için çinko yakıtı ile reaksiyona girer. Elektronlar harici bir devre aracılığıyla katoda geri çıkarılır. Bu yöntemde Çinko tamamen tüketildikten sonra, kaset değiştirilebilir. Meydana gelen reaksiyonlar: [8]



Araçlarda kullanılan türleri şarj edilemese bile, içerisinde oksitlenmiş olan çinko tozu kimyasal fiziksel yollarla oksitlenmemiş hale getirerek tekrar kullanmak mümkündür. Bu yenileme işlemi "şarj etmek" olarak düşünülebilir. Piller içerisinde enerji yoğunluğu (enerji/kütle oranı) en yüksek olanıdır. Zira teknik olarak bir pil değil, yakıt hücresidir. ZAFK'lerdeki dönüşüm genellikle hidroksitten doğrudan çinko oksite dönüşürken, bir miktar hidrojen üretilir. Bu, kontrollü havalandırma yoluyla ele alınmalıdır, bu da bu araçların depolanması için bir sorun teşkil eder, çünkü sınırlı bir alanda herhangi bir hidrojen birikmesi tehlikeli olabilir. Çinko geri kazanılabilirken, şu anda geri dönüştürmek için araçlarda kullanımından elde edilebileceğinden çok daha fazla enerji gerektirir. Elektrik kaynakları temiz ve yenilenebilir olana kadar, ZAFK'lerin kullanımı zararlı emisyonları artıracaktır. Bu sebeple sınırlı ve kullan at yakıt hücresi olarak kullanılmaktadır. [8]

Tablo 1 Yakıt hücresi türler [9]

Hücre Özellikleri	Yakıt Hücresi Türü			
	Polimer Elektrolit Membran	Fosforik asit	Karbonat	Katı oksit
Elektrolit	İyon değiştirici membran	Fosforik asit	Bazik karbonat karışımı	itriyum oksit ya da zirkonyum
Çalışma sıcaklığı	80°C	200°C	650°C	1000°C
Yük taşıyıcı	H ⁺	H ⁺	CO ₃ ⁼	O ⁼
Elektrolit şekli	Katı	İmmobilize sıvı	İmmobilize sıvı	Katı
Hücre donanımı	Karbon-metal	Grafit	Paslanmaz çelik	Seramik
Katalizör	Platinyum	Platinyum		
Hücre verimi %	<40	40-45	50-60	50-60

Tablo 2 Yakıt hücresi türlerine göre oluşan reaksiyonlar [6]

Pil	Anot Reaksiyonları	Katot Reaksiyonları	Toplam Reaksiyonlar
PEMFC	2H ₂ ® 4H ⁺ + 4e ⁻	O ₂ + 4H ⁺ + 4e ⁻ ® 2H ₂ O	2H ₂ + O ₂ ® 2 H ₂ O
PAFC	2H ₂ ® 4H ⁺ + 4e ⁻	O ₂ + 4H ⁺ + 4e ⁻ ® 2H ₂ O	2H ₂ + O ₂ ® 2H ₂ O
AFC	2H ₂ + 4OH ⁻ ® 4H ₂ O + 4e ⁻	O ₂ + 2H ₂ O + 4e ⁻ ® 4OH ⁻	2 H ₂ + O ₂ ® 2H ₂ O
MCFC	CO ₃ ²⁻ + H ₂ ® H ₂ O + CO ₂ + 2e ⁻	CO ₂ + 1/2O ₂ + 2e ⁻ ® CO ₃ ²⁻	H ₂ + ½O ₂ + CO ₂ (kat) ® H ₂ O(g) + CO ₂ (an)
SOFC	2H ₂ + 2O ₂ ® 2H ₂ O + 4e ⁻	O ₂ + 4e ⁻ ® 2O ²⁻	2H ₂ + O ₂ ® 2H ₂ O
DMFC	CH ₃ OH + H ₂ O ® CO ₂ + 6H ⁺ + 6e ⁻	3/2 O ₂ + 6H ⁺ + 6e ⁻ ® 3H ₂ O	CH ₃ OH + 3/2O ₂ ® CO ₂ + 2H ₂ O
ZAFC	CH ₄ + H ₂ O ® CO ₂ + 6H ⁺ + 6e ⁻ Zn + OH ⁻ ® ZnO + H + e ⁻	O ₂ + 2H ⁺ + 2e ⁻ ® 2OH ⁻ O ₂ + 4H ⁺ + 4e ⁻ ® 2H ₂ O	CH ₄ + 2O ₂ ® CO ₂ + 2H ₂ O

Yakıt Hücresi Uygulama Teknikleri [10]

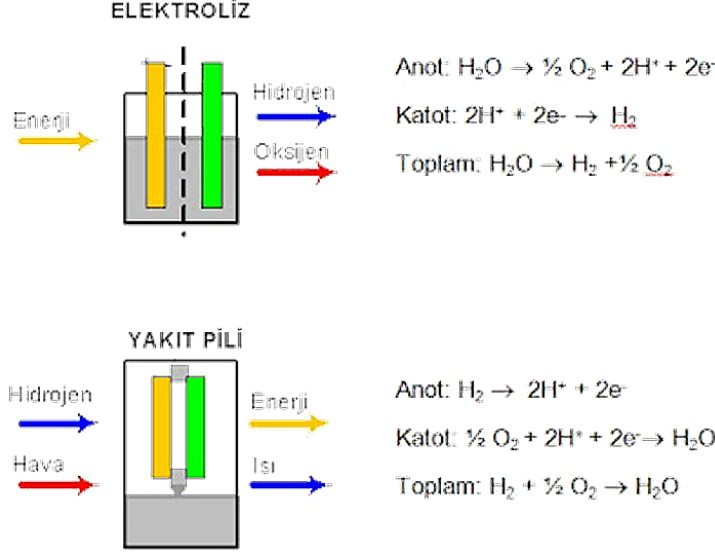
Kombine Isı ve Güç Yakıt Hücreleri [10]

Elektriğe ek olarak, yakıt hücreleri ısı üretir. Bu ısı, sıcak su ve alan ısıtması dahil olmak üzere ısıtma ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılabilir. Kombine ısı ve güç yakıt hücreleri, toplam verimliliğin % 90'a kadar ulaşabildiği evlere ve binalara güç sağlamak için ilgi çekicidir. Bu yüksek verimli operasyon paradan tasarruf sağlar, enerji tasarrufu sağlar ve sera gazı emisyonlarını azaltır.

Rejeneratif veya Geri Dönüşümlü Tersinir Yakıt Hücreleri [10]

Gelişen teknoloji, rüzgar ve güneş enerjisi santralleri gibi aralıklı yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen fazla enerjinin depolanmasını sağlayabilmektedir.

Bu enerjiyi kullanarak elektroliz yoluyla hidrojen ve oksijeni ayırtırmak mümkün olmaktadır.



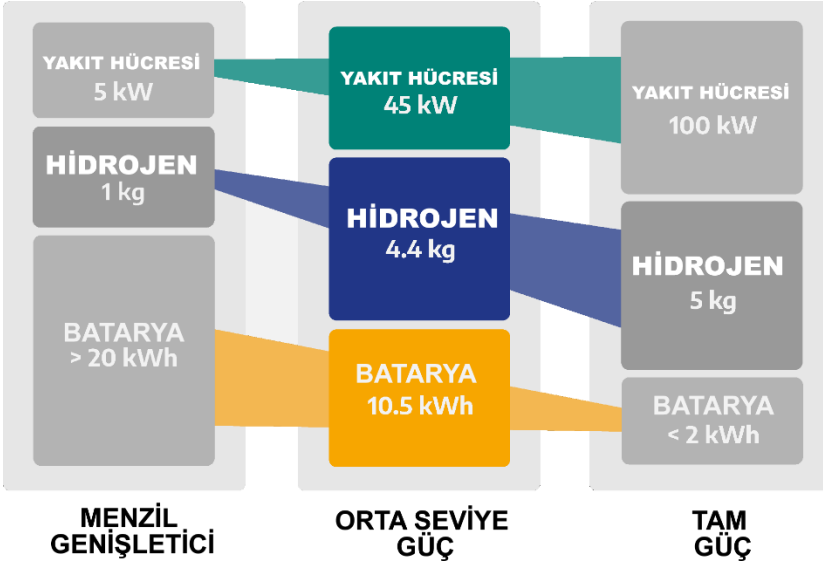
Şekil 16 Elektroliz işlemi yakıt hücresi işleminin tersinmesidir. [6]

Şekil 14’de gösterildiği gibi elektroliz işlemi yakıt hücresi işleminin tersinmesidir. Bu işlemde sorun elektroliz ve yakıt hücresi verimlerine bağlı olarak dönüşüm işleminin sonsuz bir çevrimle tekrarlanamamasıdır. Burada ki verim kayıpları dışarıdan sağlanacak ek bir enerji kaynağı ile karşılanması gerekir. [6] Bu kaynak yukarıda açıklandığı gibi yenilenebilir kaynaklarla olabileceği gibi mobil sistemlerde küçük bir batarya desteği ve kısa süreli şarj işlemi ile de gerçekleştirilebilmektedir.

Yakıt Hücresi Uygulamaları

Hidrojen yakıt hücrelerinin avantajları ve batarya teknolojisi yakıt hücreli elektrikli araçta (FCEV : Fuel Cell Electrical Vehicle) birleştirilerek bir Hidrojen Yakıt Hücreli Sıfır Emisyonlu çözüm geliştirilebilir. Bu çözüm özellikle uzun menzilli, hızlı yakıt ikmali ve sıfır emisyon gerektiren hafif ticari araç (LCV : Light Commercial Vehicle) müşterilerinin ihtiyaçlarını taşıma kapasitesinden ödün vermeden karşılayabilecektir. Bu sebeple yakıt hücrelerinin ticari alanda ilk uygulamaları elektrikli araçlarla başlamıştır denilebilir. 400 Kilometreden fazla bir menzil ile sadece 3 dakika içinde yakıt ikmali sağlayan bir orta güç mimarisi günümüz uygulamalarında yerini almıştır. [11]

Şekil 15’de verilen grafikte bataryalı elektrikli araçlarda yük hücresi uygulamasının sağladığı avantajlar görülmektedir. Bu uygulama menzil genişletici olarak uygulanabileceği gibi tam güç sağlamak amacıyla da uygulanabilir. Şekildeki orta seviye güç kısmı ise bu iki uygulama arasındaki geçiş bölgesinin orta değerini temsil etmektedir. Özetlersek; yakıt hücreli elektrikli araç mimarileri, spektrumunun bir ucunda "tam güç" konfigürasyonu, diğer ucunda "menzil genişletici" konfigürasyonu bulunur.



Şekil 17 Elektrikli araçlarda yakıt hücresi uygulaması ile batarya kapasitesinin değişimi. [11]

Tam Güç: Bir yakıt hücresi, tüm çalışma koşullarında ana tahrik kaynağıdır. Bu, büyük ve güçlü bir yakıt hücresi ve küçük bir pil gerektirir.

Menşil Genişletici: Büyük bir aküye sahip akülü elektrikli bir araç, aküye güç sağlayarak aracın menşilini genişleten küçük bir düşük güçlü yakıt hücresi ile birleştirilir. Bununla birlikte, yakıt hücresi, akü boşaldığında aracı itmek için yeterli gücü üretmez.



Şekil 18 Hafif ticari araçlarda uygulamaya başlayan yakıt hücresi teknolojisi [11]

Şekil 16'da gösterilen uygulamada batarya hızlanma gibi acil aşırı enerji ihtiyaçlarında devreye girdiği gibi verimsizlikle ortaya çıkan kayıpları karşılayabilecek büyüklükte tasarlanmaktadır.



Şekil 19 Yakıt pillerinin deizaltılarda uygulamasına örnek [12]

Şekil 17’de gösterilen yakıt hücresi tahrikli tip 212 denizaltı. Bu örnek Alman Donanması tarafından işletilmektedir.



Şekil 20 Yakıt hücresi uygulamaları [4]

Uygulamalarda batarya kullanımı yerini aldığı için ekonomik olarak uygulanabilir olabilecek tüm alanlarda yakıt pili uygulamaları geliştirilmektedir. Şekil 18’de ki uygulamalar şunlardır.

- En sağda toplu taşımada otobüslerde uygulanış.
- Altta teknelerde uygulanış.
- Orta üstte sabit yük santrali uygulamalarında ve forkliftlerde uygulanış.
- Sağda kamyon ve yük taşımacılığında uygulanış.
- Taşınabilir güç kaynağı uygulamalarında uygulanış.

Sonuç olarak yakıt hücreleri, evlerimize ve işyerlerimize güç sağlamaktan arabalar, otobüsler ve trenler gibi hareketli araçlara ve daha fazlasına kadar bir dizi uygulama sunar. Temelde kullanım şekilleri amaçlarına göre şöyle gruplanabilir.

Güç

Yakıt hücreleri, çeşitli ticari, endüstriyel ve konut uygulamaları için güç kaynağı işlevini yerine getirebilir. Evlerden uzay araçlarına ve araştırma istasyonlarına kadar değişen bir kullanım aralığı olduğu söylenebilir. Yakıt hücreleri, hareketli parçaları olmaması nedeniyle arızalara karşı son derece güvenilirdir, uzak yerler için özellikle tercih edilmektedir. İdeal koşullar altında her altı yılda bir dakikadan az arıza süresine eşit olan %99,9999'a kadar güvenilirlik sağlar.

Kojenerasyon

Yakıt hücreleri kojenerasyon yoluyla daha da verimli hale getirilebilmektedir. Bunlar, yakıt hücresi sistemlerinin güç üretmek için kullanıldığı, üretilen atık ısının ise binaları veya güç soğutma sistemlerini ısıtmak için kullanıldığı uygulamalardır. Kojenerasyonlu uygulamalar toplam sistem verimliliğini % 85 ulaştırabilir. (bunun% 40-60'ı elektrik üretimi ile ilgilidir). Bununla birlikte, bu sistemler maliyetli olabilir ve nispeten kısa bir ömre sahip olabileceği gibi, sıcak su depolama tankı ihtiyacı ile yer kaplayabilir.

Ulaşım

Yakıt hücreleri, otomobillerden otobüslere, gemilere, trenlere ve uçaklara kadar çeşitli ulaşım uygulamaları için kullanılabilir. Yakıt hücreleri ayrıca motosikletlere, bisikletlere ve scooter'lara da dahil edilmeye başlanmıştır. 2019'un sonuna kadar 18.000 yakıt hücreli elektrikli araç (FCEV) kiralandı veya satıldı ve bu otomobiller yakıt ikmalleri arasında ortalama 314 ila 380 mil arasında bir menzile sahipken, yakıt ikmali beş dakikadan az sürüyor ve bu teknolojiyi şarj edilmesi çok daha uzun süren batarya tabanlı elektrikli otomobillere karşı rekabetçi hale getiriyordu. Ek olarak, hidrojen gazı ile çalışan yakıt hücreleri yaklaşık% 40 daha az enerji kullanmaktadır. Tiplerine göre içten yanmalı motorlardan en fazla % 45 daha az sera gazı yayar.



Yakıt hücreli otomobillerin etrafındaki zorluklara rağmen, yakıt hücreli otobüsler zaten etkili olduğunu kanıtlarken, forkliftler de hidrojen yakıt talebinin önemli bir itici gücüdür. Forkliftler özellikle ilgi çekicidir, çünkü genellikle emisyonların kontrol edilmesi gereken iç mekanlarda çalışmaları gerekir. Bu, elektrikli forkliftlerin sıklıkla kullanıldığı anlamına gelir, ancak yakıt hücreleri, daha hızlı yakıt ikmali ve soğutulmuş depolar gibi düşük çalışma sıcaklıklarında bozulma eksikliği de dahil olmak üzere akü gücüne göre faydalar sağlar.

Yakıt hücreleri, insanlı hava araçları için de kullanılmıştır, genellikle test sırasında yedek olarak bir batarya hibritine sahip bir proton değişim membranı yakıt hücresi gibi teknolojilerin bir kombinasyonunu kullanır. Yakıt hücreleri, insansız hava araçlarında ve uçaklarda yardımcı güç sağlamak, motorları çalıştırmak ve yerleşik elektrikli güç vermek gibi uygulamalar için fosil yakıtların yerini almak için daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yakıt hücreleri ayrıca Amsterdam kanallarındaki turist tekneleri için de kullanıldı ve Alman ve İtalyan donanmaları, denizaltıların haftalarca su altında kalmasına sağlamak için yakıt hücrelerini kullandı ve aynı zamanda sessiz çalışma operasyonlarını da geliştirebildi.

Taşınabilir Güç

Portatif yakıt hücresi sistemleri, 10 kg'dan daha hafif ve 5kW'ın altında güç üreten üreteç sınıfındadırlar. Bu tip hücreler, 1-50w'lık küçük cihazlara güç sağlamak ve uzak konumlar için 1-5kW'lık daha büyük güç üretimi için çok çeşitli uygulamalarda tercih edilmektedirler.

Daha küçük mikro-yakıt hücreleri, lityum iyon pillere kıyasla enerji yoğunluğu ve ağırlık azaltma gibi avantajlarla mobil cihazlar ve dizüstü bilgisayarlar gibi pazarlara ulaşılması hedeflenmektedir. Pazar penetrasyonu, maliyetleri düşürmek için yakıt hücresi teknolojisinde daha fazla geliştirmeye ihtiyaç duymaktadır, ancak şarj arasında daha uzun kullanım süreleri vaadi çekicidir.

Daha büyük ölçekli taşınabilir güç, eğlence sektörü, askeri ve hava istasyonları gibi coğrafi olarak uzak endüstriyel uygulamalar için umut vaat etmektedir. Bu daha büyük, ancak yine de taşınabilir hücre yığınlarının avantajı, pillere kıyasla ağırlık başına üretilebilecek güç miktarıdır.

Diğer Uygulamalar

Yukarıda listelenen kullanımlar, yakıt hücrelerinin nerede kullanılabileceğine dair örneklerden birkaçıdır. Diğer uygulamalar arasında baz istasyonları ve hücre sahaları için uygulamalar, dağıtılmış güç üretimi çalışmaları, birincil sistemler arızalandığında yedek olarak devreye girebilecek acil durum güç sistemi, telekomünikasyon, baz yük enerji santralleri, güneş hidrojen yakıt hücresi, su ısıtma, küçük elektronik cihazlar için taşınabilir şarj istasyonları, küçük ısıtma cihazları, nakliye konteynerleri için gıda muhafazası (enerji üretimi yoluyla oksijenin tükenmesi) sayılabilir.

Tehlikeli mi?



Hidrojen, herhangi bir yakıtın en yüksek yanıcılık aralığına ve en düşük ateşleme enerjisi noktasına sahiptir ve bu da hidrojen yakıt hücrelerinin güvenliği konusunda belirgin endişelere yol açmaktadır. Bununla birlikte, buna rağmen, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Yangından Korunma Derneği, hidrojen yakıt hücresi ve akülü elektrikli araçların geleneksel yanmalı motorlu araçlardan daha tehlikeli olmadığını belirlemiştir. Bunun nedeninin bir kısmı, hidrojenin havaya dağılma hızıdır. Hidrojen, 20mph oranında doğrudan uzaya yayılır, bu nedenle, büyük miktarlarda birikecek kadar uzun bir kap veya yapı içinde sıkışmadığı sürece, çok tehlikeli sayılmamaktadır.

Araçlardaki hidrojen yakıt tankları üzerinde de testler yapılmıştır. Çarpışma simüle edilmiş ve boş bir mesafeden vurulmuştur. Askeri testlerde, doğrudan bir vuruşu ve şarapnel hasarını simüle etmek için hidrojen yakıt deposunun yanına roket güdümlü bir el bombası bile bağlanmıştır. Her durumda, hidrojen yakıtının sıvı yakıtlardan daha tehlikeli olmadığı ve çoğu durumda daha az tehlikeli olduğu sonucuna varılmıştır. Hidrojen yakıt hücreli araçların bataryalı elektrikli araçlardan (BEV: Battery Electric Vehicle) daha güvenli olduğu iddia edilebilir. Bir BEV'deki enerji, hidrojenle olduğu gibi atmosfere girmez, yani komşu hücrelerin birbirlerini etkilemesi, alev alma veya patlama tehlikesi önlenemez. Zehirli dumanlar üreten bir BEV pil yangınına söndürmek de zordur. Hidrojen yakıt hücreleri forkliftler için on yıldan fazla bir süredir büyük bir olay olmadan yaygın olarak kullanılırken, binlerce hidrojen yakıt hücreli araç zaten yollarımızda hareket halindedir. Açık havada kullanıldığında, hidrojen diğer yakıt türlerinden daha güvenli kabul edilir, ancak kaçamayacağı bir yerde depolandığı veya tutulduğu yerlerde hala tehlikeli olarak kabul edilmektedir. [13]

Hidrojen Yakıt Hücrelerinin Avantajları Nelerdir? [13]

Hidrojen yakıt hücresi teknolojisi, aşağıdakiler de dahil olmak üzere diğer güç kaynaklarına göre çeşitli avantajlar sunar:
Yenilenebilir ve Kolayca Temin Edilebilir

Hidrojen, Evren'deki en bol elementtir ve sudan çıkarılmasıyla ilgili zorluklara rağmen, kombine ısı ve güç kaynakları için gelecekteki sıfır karbonlu ihtiyaçlarımız için mükemmel, benzersiz bir şekilde bol ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. [13]

Sıfır Karbonlu Enerji Stratejilerini Desteklemek için Temiz ve Esnek Bir Enerji Kaynağıdır

Hidrojen yakıt hücreleri, yan ürünler sadece ısı ve su olduğu için çalışma sırasında olumsuz çevresel etkisi olmayan, doğası gereği temiz bir enerji kaynağı sağlar. Biyoyakıt veya hidroelektrikten farklı olarak, hidrojen üretmek için geniş arazi alanları gerektirmez. Aslında, NASA, astronotlar için içme suyu olarak kullanılan bir yan ürün olarak üretilen su ile hidrojeni bir kaynak olarak kullanmaya bile çalışıyor. Bu, hidrojen yakıt hücrelerinin toksik olmayan bir yakıt kaynağı olduğunu ve bu nedenle bu şekilde potansiyel olarak tehlikeli veya elde edilmesi zor olan kömür, doğal gaz ve nükleer enerjiden daha üstün olduğunu göstermektedir.

Fosil Yakıtlardan Daha Güçlü ve Enerji Verimli

Hidrojen yakıt hücresi teknolojisi, iyi enerji verimliliği ile yüksek yoğunluklu bir enerji kaynağı sağlar. Hidrojen, ağırlıkça herhangi bir ortak yakıtın en yüksek enerji içeriğine sahiptir. Yüksek basınçlı gaz ve sıvı hidrojen, dizel ve LNG'nin gravimetrik enerji yoğunluğunun (yaklaşık 120MJ / kg) yaklaşık üç katına ve doğal gaza benzer bir hacimsel enerji yoğunluğuna sahiptir. [13]

Diğer Enerji Kaynaklarına Kıyasla Yüksek Verimli

Hidrojen yakıt hücreleri, birçok yeşil enerji çözümü de dahil olmak üzere diğer birçok enerji kaynağından daha verimlidir. Bu yakıt verimliliği, yakıt kilosu başına daha fazla enerji üretilmesini sağlar. Örneğin, geleneksel bir yanma bazlı enerji santrali, hidrojen yakıt hücreleri için% 65'e kadar% 33-35 verimlilikte elektrik üretir. [13] Aynı şey, hidrojen yakıt hücrelerinin yakıt enerjisinin% 40-60'ını kullandığı ve aynı zamanda yakıt tüketiminde% 50'lik bir azalma sağladığı araçlar için de geçerlidir.



Neredeyse sıfır emisyon

Hidrojen yakıt hücreleri, fosil yakıt kaynaklarında olduğu gibi sera gazı emisyonları üretmez, böylece kirliliği azaltır ve sonuç olarak hava kalitesini iyileştirir.

Karbon Ayak İzlerini Azaltır

Neredeyse hiç emisyon olmadan, hidrojen yakıt hücreleri sera gazlarını serbest bırakmaz, bu da kullanımdayken karbon ayak izine sahip olmadıkları anlamına gelir.

Hızlı Şarj Süreleri

Hidrojen yakıt hücresi güç ünitelerinin şarj süresi, geleneksel içten yanmalı motorlu (ICE: Internal Combustion Engine) araçlara benzer şekilde son derece hızlıdır ve pille çalışan elektrikli araçlara kıyasla belirgin şekilde daha hızlıdır. Elektrikli araçların şarj olması için 30 dakika ile birkaç saat arasında bir süre geçmesi gerektiğinde, hidrojen yakıt hücreleri beş dakikadan kısa sürede şarj edilebilir. Bu hızlı şarj süresi, hidrojenle çalışan araçların geleneksel otomobillerle aynı esnekliği sağladığı anlamına gelir.

Gürültü Kirliliği Yok

Hidrojen yakıt hücreleri, rüzgar enerjisi gibi diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi gürültü kirliliği üretmez. Bu aynı zamanda, elektrikli otomobiller gibi, hidrojenle çalışan araçların geleneksel içten yanmalı motorları kullananlardan çok daha sessiz olduğu anlamına gelir.

Görsel Kirliliğin Olmaması

Rüzgar enerjisi ve biyoyakıt santralleri de dahil olmak üzere bazı düşük karbonlu enerji kaynakları göz kamaştırıcı olabilir, ancak hidrojen yakıt hücreleri aynı alan gereksinimlerine sahip değildir, bu da daha az görsel kirlilik olduğu anlamına gelir.

Uzun Kullanım Süreleri

Hidrojen yakıt hücreleri, kullanım süreleri açısından daha fazla verimlilik sunar. Bir hidrojen aracı, fosil yakıt kullananlarla aynı menzile sahiptir (yaklaşık 300 mil). Bu, şu anda yakıt hücresi güç üniteleriyle 'menzil genişleticiler' olarak giderek daha fazla geliştirilmekte olan elektrikli araçlar (EV'ler) tarafından sunulandan daha üstündür. Hidrojen yakıt hücreleri ayrıca dış sıcaklıktan önemli ölçüde etkilenmez ve EV'lerin aksine soğuk havalarda bozulmaz. Bu avantaj, kısa şarj süreleri ile birleştiğinde daha da artar.

Uzak Bölgelerde Kullanım İçin İdeal

Yerel koşulların izin verdiği yerlerde, hidrojenin yerel üretim ve depolama yoluyla mevcudiyeti, uzak bölgelerde dizel bazlı güç ve ısıtmaya bir alternatif olabilir. Bu sadece yakıtların taşınması ihtiyacını azaltmakla kalmayacak, aynı zamanda hazır bulunan bir doğal kaynaktan elde edilen kirlenici olmayan bir yakıt sunarak uzak bölgelerde yaşayanların yaşamlarını da iyileştirecektir.

Çok Yönlülük

Teknoloji ilerledikçe, hidrojen yakıt hücreleri bir dizi sabit ve mobil uygulama için enerji sağlayabilecektir. Hidrojenle çalışan araçlar sadece bir örnektir, ancak yerli ürünler ve daha büyük ölçekli ısıtma sistemleri gibi daha küçük uygulamalarda da kullanılabilir. ICE güç santrallerine benzer şekilde, enerji depolama kapasitesinin (yani yakıt deposunun) ve motor boyutunun işlevleri, batarya tabanlı gücün aksine (yani gücün kütle ile doğrusal olarak ölçeklendiği) ayrıştırılır, böylece tasarımda büyük esneklik sağlanır.

Güç Kaynağının Demokratikleştirilmesi



Hidrojen yakıt hücreleri, bir ulusun fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltma potansiyeline sahiptir ve bu da dünyadaki enerji ve güç kaynaklarını demokratikleştirmeye yardımcı olacaktır. Bu artan bağımsızlık, şu anda fosil yakıt arzına bağımlı olan birçok ülke için bir fayda sağlayacaktır. Tabii ki, bu aynı zamanda stoklar azaldıkça fosil yakıt fiyatlarının yükselmesi sorununu da önleyecektir.

Hidrojen Yakıt Hücrelerinin Dezavantajları Nelerdir? [13]

Hidrojen yakıt hücrelerinin birçok avantajına rağmen, ele alınması gereken birkaç dezavantajı ve zorluğu da vardır.

1. Hidrojen Ekstraksiyonu

Evrendeki en bol element olmasına rağmen, hidrojen kendi başına mevcut değildir, bu nedenle elektroliz yoluyla sudan çıkarılması veya karbon fosil yakıtlardan ayrılması gerekir. Bu süreçlerin her ikisi de elde etmek için önemli miktarda enerji gerektirir. Bu enerji, hidrojenin kendisinden elde edilenden daha fazla olabilir ve pahalı olabilir. Bu tür bir ekstraksiyon tipik olarak karbon yakalama sistemlerinin yokluğunda hidrojenin yeşil kimlik olmasını zayıflatan fosil yakıtları kullanmaktadır.

2. Yatırım Gereklidir

Hidrojen yakıt hücrelerinin, gerçekten uygulanabilir bir enerji kaynağı haline geldikleri noktaya kadar geliştirilmeleri için yatırıma ihtiyaçları vardır. Bu aynı zamanda teknolojiyi geliştirmek ve olgunlaştırmak için zaman ve parayı kalkınmaya yatırmak için siyasi iradeyi gerektirecektir. Basitçe söylemek gerekirse, yaygın ve sürdürülebilir hidrojen enerjisinin geliştirilmesi için küresel zorluk, 'arz ve talep' zincirinin en uygun maliyetli şekilde kademeli olarak nasıl inşa edileceğidir.

3. Hammadde Maliyeti

Platin ve iridyum gibi değerli metaller tipik olarak yakıt hücrelerinde ve bazı su elektrolizörü türlerinde katalizör olarak gereklidir, bu da yakıt hücrelerinin (ve elektrolizörlerin) başlangıç maliyetinin yüksek olabileceği anlamına gelir. Bu yüksek maliyet, bazılarını hidrojen yakıt hücresi teknolojisine yatırım yapmaktan caydırmaktadır. Hidrojen yakıt hücrelerini herkes için uygulanabilir bir yakıt kaynağı haline getirmek için bu tür maliyetlerin azalması gerekmektedir.

4. Düzenleyici Konular

Ticari dağıtım modellerini tanımlayan çerçeveye ilgili düzenleyici konuların etrafında da engeller vardır. Ticari projelerin maliyet ve gelir temellerini anlamalarına izin veren net düzenleyici çerçeveler olmadan, ticari projeler finansal yatırım kararına (FID) ulaşmak için mücadele edebilir.

5. Toplam Maliyet

Hidrojen yakıt hücrelerinden bir güç biriminin maliyeti şu anda güneş panelleri de dahil olmak üzere diğer enerji kaynaklarından daha yüksektir. Bu, teknoloji ilerledikçe değişebilir, ancak şu anda bu maliyet, üretildikten sonra daha verimli olmasına rağmen, hidrojenin yaygın kullanımının önünde bir engeldir. Bu masraf aynı zamanda, hidrojenle çalışan araçların fiyatı gibi maliyetleri daha da aşağıya doğru etkiler ve şu anda yaygın olarak benimsenmesini mümkün kılmamaktadır.

6. Hidrojen Depolama

Hidrojenin depolanması ve taşınması, fosil yakıtlar için gerekli olandan daha karmaşıktır. Bu, hidrojen yakıt hücreleri için bir enerji kaynağı olarak dikkate alınması gereken ek maliyetler anlamına gelir.

7. Altyapı

Fosil yakıtlar onlarca yıldır kullanıldığından, bu güç kaynağının altyapısı zaten mevcuttur. Otomotiv uygulamaları için hidrojen yakıt hücresi teknolojisinin büyük ölçekli olarak benimsenmesi, onu desteklemek için yeni yakıt ikmali altyapısı gerektirecektir.

8. Yüksek Yanıcı



Hidrojen, anlaşılabilir güvenlik endişeleri getiren oldukça yanıcı bir yakıt kaynağıdır. Hidrojen gazı havada % 4 ila % 75 arasında değişen konsantrasyonlarda yanar.

Piyasalar

Endüstri grupları, gelecekteki talep için yeterli platin kaynağı olduğu tahmin ediliyor. Yakıt Hücreli Endüstrisindeki dört baskın üretici Amerika Birleşik Devletleri, Almanya, Japonya ve Güney Kore'dir.

2007'de 11.000 gönderiden 2010 yılında küresel olarak sevk edilen 140.000 yakıt hücresi satışı gerçekleşmişti. 2007'de Brookhaven Ulusal Laboratuvarı'ndaki araştırmalar, platinin zehirlenmeye karşı daha az duyarlı olabilecek ve böylece yakıt hücresi ömrünü uzatabilecek bir altın-paladyum kaplama ile değiştirilebileceğini öne sürdü. Başka bir yöntem platin yerine demir ve kükürt kullanır. Bu, bir yakıt hücresinin maliyetini düşürecektir (normal bir yakıt hücresindeki platinin maliyeti yaklaşık 1.500 ABD Doları civarında ve aynı miktarda demirin maliyeti sadece 1,50 ABD Doları civarındadır). Konsept, John Innes Merkezi ve Milano-Bicocca Üniversitesi'nin bir koalisyonu tarafından geliştirilirdi.

2010 yılında yakıt hücresi sevkiyatlarının yaklaşık % 50'si, 2009'da yaklaşık üçte birinden daha yüksek olan sabit yakıt hücreleriydi. Ocak 2011 itibariyle, sabit yakıt hücrelerinin kurulu kilowatt başına yaklaşık 724 ila 775 dolar arasında güç ürettiğini tespit edildi. 2011 yılında, büyük bir yakıt hücresi tedarikçisi olan Bloom Energy, yakıt hücrelerinin yakıt, bakım ve donanım fiyatı da dahil olmak üzere kilowatt-saat başına 9-11 sent güç ürettiğini ilan etti.

2011'den 2012'ye kadar dünya çapında yakıt hücresi sevkiyatları yıllık % 85'lik bir büyüme oranına sahip oldu.

2012 yılında, yakıt hücresi endüstrisi gelirleri dünya çapında 1 milyar dolarlık piyasa değerini aştı ve Asya Pasifik ülkeleri dünya çapında yakıt hücresi sistemlerinin 3 / 4'ünden fazlasını sağladı. Bununla birlikte, Ocak 2014 itibariyle, sektördeki hiçbir halka açık şirket henüz kârlı hale gelmemiştir.

2016 yılında Samsung, pazarın görünümü iyi olmadığı için yakıt hücresi ile ilgili iş projelerini bırakmaya karar vermiştir.

Sonuç

Hidrojen yakıt hücrelerinin en iyi yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak avantajları açıktır, ancak hidrojenin gelecekteki karbondan arındırılmış bir enerji sistemi için kilit bir etkinleştirici olarak tam potansiyelini gerçekleştirmek için üstesinden gelmesi gereken bir takım zorluklar vardır. Olumlu tarafı, hidrojen yakıt hücreleri yakın gelecekte sabit ve mobil uygulamalar için tamamen yenilenebilir ve temiz bir güç kaynağı sunabilir olmasıdır. Bunu başarmak için, karbondan arındırılmış hidrojen üretimini ve yakıt hücresi üretimini ölçeklendirmeye ve ticari dağıtım modellerini açıkça tanımlamak için gerekli düzenleyici çerçeveyi geliştirmeye ihtiyaç vardır. Çıkarma, depolama ve nakliye maliyetlerini düşürmek için daha fazla teknolojik ilerlemenin yanı sıra bunu destekleyecek altyapıya daha fazla yatırım yapılması öngörülmektedir.

Hidrojen, enerji gereksinimlerimizin geleceği için en iyi çözüm olabilir, ancak bunun gerçekleşmesi için siyasi irade ve yatırım gerekecektir. Bununla birlikte, fosil yakıtlar tükendikçe hidrojen, küresel enerji ihtiyaçlarımız için önemli bir çözüm olabilir.

Başvurular

[1] Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office, «Fuel Cell Basics,» [Çevrimiçi]. [Erişildi: 03 03 2023].



- [2] Technology News, «Bi-Directional Supercap Charger Integrates Backup & Balancing,» eeNews, 29 07 2015. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.eenewseurope.com/en/bi-directional-supercap-charger-integrates-backup-balancing/>. [Erişildi: 05 03 2023].
- [3] Smithsonian Institution, « Fuel Cell History Project,» Smithsonian Institution, 2004. [Çevrimiçi]. Available: <https://americanhistory.si.edu/fuelcells/origins/origins.htm>. [Erişildi: 09 03 2023].
- [4] «Wikipedia Battery,» 09 03 2023. [Çevrimiçi]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Flow_battery.
- [5] «What is a hydrogen fuel cell,» TWI LTD., 03 03 2023. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-a-hydrogen-fuel-cell>. [Erişildi: 03 03 2023].
- [6] B. Beşergil, «Yakıt Pilleri (fuel cells),» [Çevrimiçi]. Available: http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/6_70.html. [Erişildi: 11 03 2023].
- [7] Ç. Çakanyıldırım, Yazar, *Alternatif Enerji Kaynakları Yakıt Pili Teknolojisi*. [Performance]. Hitit Üniversitesi, 2019.
- [8] Wikipedi, «Çinko-Hava pili,» Wikipedi, 06 05 2021. [Çevrimiçi]. Available: https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87inko-hava_pili. [Erişildi: 11 03 2023].
- [9] Hacettepe Üniversitesi, 11 03 2023. [Çevrimiçi]. Available: <https://yunus.hacettepe.edu.tr/~yilser/yakitpili.htm>.
- [10] energy.gov.tr, «HYDROGEN AND FUEL CELL TECHNOLOGIES OFFICE,» 09 03 2023. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cell-basics>.
- [11] Stellantis, «TECHNOLOGY,» 09 03 2023. [Çevrimiçi]. Available: https://www.stellantis.com/en/technology/hydrogen-fuel-cell-technology?adobe_mc_ref=.
- [12] «Wikipedia Fuel Cell,» 09 03 2023. [Çevrimiçi]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell.
- [13] U.S. Department of Energy's Vehicle Technologies Office., «Alternative Fuels Data Center,» Department of Energy, 09 03 2023. [Çevrimiçi]. Available: https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen_benefits.html.
- [14] PNG EGG, *Fuel Cells Proton-exchange membrane fuel cell Membrane electrode assembly, angle, hydrogen png*, <https://www.pngegg.com/en/png-ejmzh>.



tmmob
makina mühendisleri odası

Basınçlı Hava Enerji Depolama (BHED)

Compressed Air Energy Storage (CAES)

A. Saim PAKER - Makine Mühendisi

M.M.O. İstanbul Şube Enerji Komisyonu Üyesi.

saimpkr@yahoo.com.

ORCID: 0000-0002-8237-924X

Özet

Bilindiği gibi enerji arzı ve talebi gerçek hayatta birebir ilişki içinde değildir. Üretim; arz kaynakların piyasa koşullarında kontrol edildiği belirli bir seviyede gerçekleşir. Talep değişkenliğini kontrol etmek arz kontrolü kadar kolay değildir. Zamana dayalı periyodik piyasa döngüsünde arz ve talep seviyeleri birbirini karşılamalıdır. Talep değişimi, denge durumu üzerinde entropik etki yapar. Bu durum, kontrollü denge yönetimi nedeniyle tersine çevrilebilir enerji depolaması gerektirir. Dengeleme tesisinin depolama kapasitesi, büyüklüğü ve hangi teknoloji ile maliyet etkin bir şekilde uygulanacağı temel çalışma alanını oluşturur..

Bu yazıda bu teknolojilerden biri incelenmiş ve güncel teknolojiler ve uygulamalar hakkında araştırmacılara bilgi verilmiştir. Başlangıç bölümünde, basınçlı hava enerji depolama teknolojisi, değerlendirmeye yetecek kadar gerekli ayrıntılarla ifade edilmiştir. Alternatif yöntemler karşılaştırılarak avantaj ve dezavantajlar açıklanmıştır. CEAS teknolojisinin tarihsel gelişimi, tesislerin devreye alınma sırasına göre tablo halinde verilmiştir.

Makalenin amacı, bu konuda çalışmalar yürütecek tüm araştırmacılara araştırma planları yapmalarına yardımcı olmak için bilgi vermek ve yol göstermektir.

Summary

As well known energy supply and demand do not correspond one by one relation in real life. Supply goes to a set level in which sources are controlled in market conditions. It's not easy to control demand variation like supply. In the time-based periodical market cycle supply and demand balances should meet up each other. Demand variation makes the entropic effect on balance condition. That needs reversible energy storage due to controlled balance management. The storage capacity of the balancing plant, its size and the technology to be applied cost-effectively constitute the main field of study.

In this text, one of these technologies is reviewed and informed to researchers about actual technologies and applications. In the start-up section, compressed air energy storage technology is expressed in necessary detail that is enough to evaluate. Advantages and disadvantages have been explained by comparing alternative methods. The historical improvement of CEAS technology has been given in order of commissioning the plants as table.

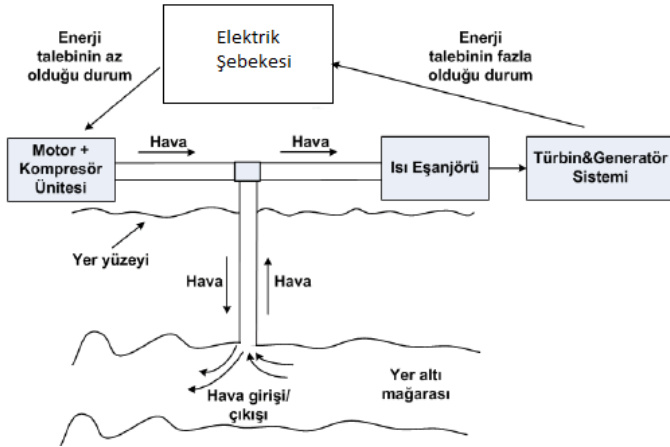
The aim of the article is to inform and guide all researchers who will conduct studies on this subject in order to help them make research plans.

Giriş

Elektriğin fazla ve ucuz olduğu saatlerde, kompresör çalıştırılarak ortamdaki hava yeraltındaki geçirimsiz mağaralarda sıkıştırılarak depolanmakta, ihtiyacın olduğu saatlerde ise basınçlı hava ile türbinler çalıştırılarak elektrik üretilmektedir. Bu yöntemde, havanın sıkıştırılarak depolanabilmesi için geçirimsiz bir formasyona ihtiyaç vardır. Doğal boşluklar, terk edilmiş madenler, tuz mağaraları kullanılabileceği gibi, yapay boşluklar da oluşturulabilmektedir. Havanın sıkıştırılması için yapay tanklar üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır.

Basınçlı hava enerji depolama (CAES: Compressed Air Energy Storage), enerji depolamada havayı potansiyel enerji kaynağı olarak kullanılan bir teknolojidir. Bu sistemler basınçlı hava kullanarak enerjiyi depolayabilen ve geri kazanabilen sistemlerdir. BHED, rüzgar veya güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının değişken doğasına da cevap olarak kullanılır. Bu kaynakların enerjisi, genelde üretilen enerjinin anlık ihtiyacı ile eşleşmez. Bu nedenle enerjinin depolanması gerekir. Havanın basınçlandırıldığı bir depolama hazneleri kullanır. Depolanan hava enerji ihtiyacı olduğunda, basınçlı hava türbinlerde kullanılarak elektrik enerjisi üretmek için serbest bırakılır, hava türbinleri elektrik üretmek için çalıştırılır.

Enerji depolama için kullanılabilecek uygun yerlerin sınırlı olduğu alanlarda doğal yapı imkan veriyorsa tercih edilir. Ancak sistem, diğer enerji depolama sistemlerine kıyasla maliyeti yüksektir. Bazı çevresel sorunlarla da karşı karşıya bırakılabilir. Bu nedenle, sistem genellikle büyük ölçekli enerji depolama projelerinde kullanılır.

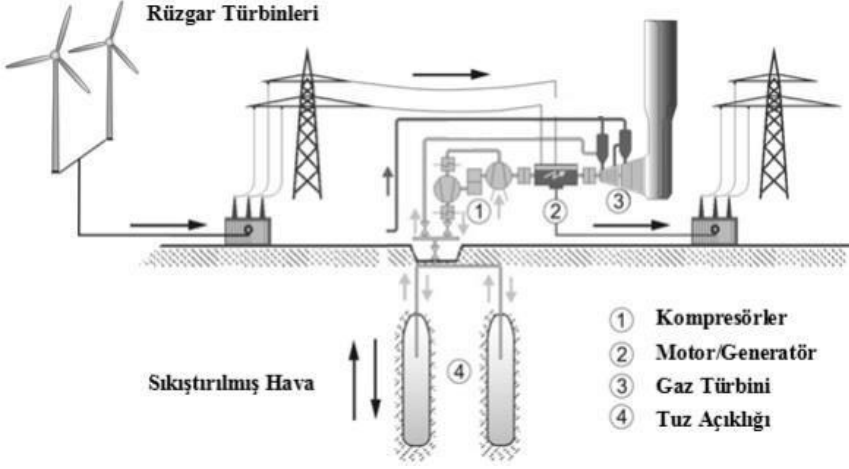


Şekil 1 Basınçlı hava ile enerji depolama blok şeması [1]

Basınçlı hava enerji depolama sisteminde (BHED), Şekil 1'deki gibi sıkışmış havadaki potansiyel enerjiyi, yerin altında inşa edilen büyük tanklarda (çoğunlukla yerin 500-800 m derinliğindeki yer altı eski tuzlu kayalar, maden ocakları ve büyük mağaralarda) depolayarak kullanır. Günümüzde eski doğal gaz ve su havzalarının depo olarak kullanımı değerlendirilme aşamasındadır.

Uygulama Amacına Göre Yöntemler

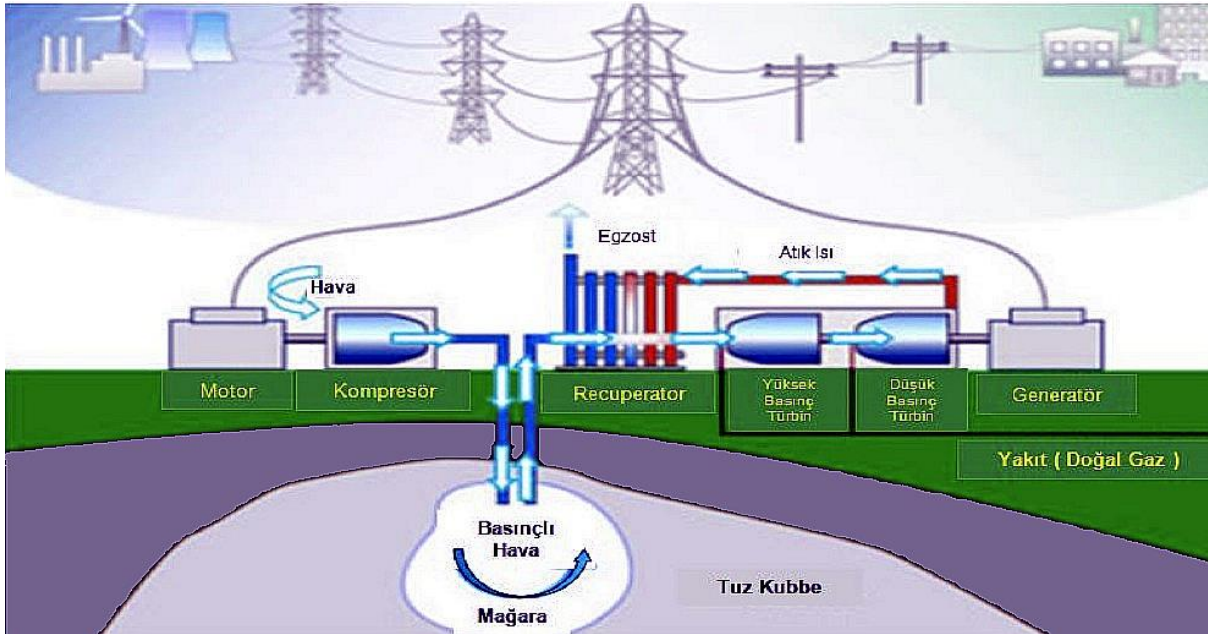
Enerji kaynağı doğrudan muhtelif üreteçlerden beslenen şebeke olabileceği gibi Şekil 2'deki gibi elektrik şebekesi yenilenebilir kaynaklardan beslenebilir. Rüzgâr, güneş vb. elde edilen fazla elektrik veya şebekeye verilemeyen enerji, bir kompresörü çalıştırarak havayı yeraltı deposunda depolar. Rezervuar depodaki basınç 100 bara kadar çıkabilir.



Şekil 2 Yenilenebilir kaynakların kullanımı [2]

Hava depolama hazneleri olarak hizmet vermeye uygun toprak tabanlı yapılar: çözelti madenciliği yapılan tuz boşlukları, kazılmış maden boşlukları, akifer suyu taşıyan jeolojik yapılar ve tükenmiş doğal gaz rezervuarlarıdır. [3]

Depolanan enerjiden elektrik üretileceği zaman Şekil 3'deki gibi, rezervuarda depolanan hava serbest bırakılır. Serbest bırakılan basınçlı hava verimi artırmak amacıyla reküperatörde ısıtılır ve doğal gaz katılarak bir gaz yanmalı türbine gönderilerek yakılır. Türbinde elde edilen döngü ile bir jeneratörde elektrik üretilir ve şebekeye verilir.

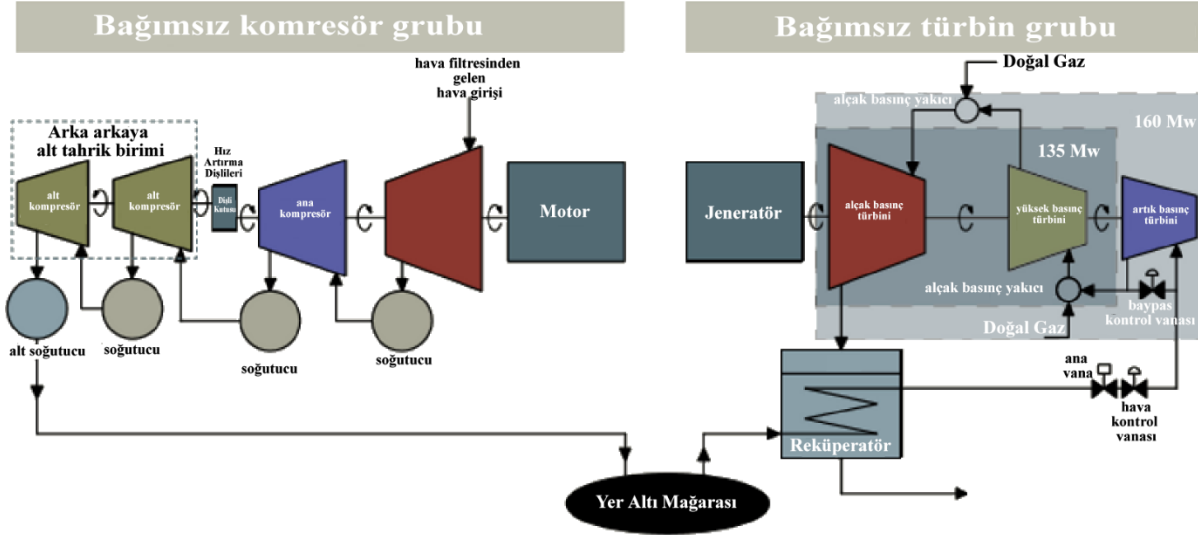


Şekil 3 Doğrudan şebeke ile etkileşen depolama sistemi [4]

Şekil 4'de çok kademeli olarak yapılandırılmış depolama sistemi görülmektedir. Bu sistemde kompresörler seri bağlanarak depolama basıncı artırılmaktadır. Bu durumda her kompresör geçişinde ısınan hava soğutulmak zorunda kalmaktadır. Jeneratör kısmında da üretim çok kademeli olarak gerçekleşmektedir.

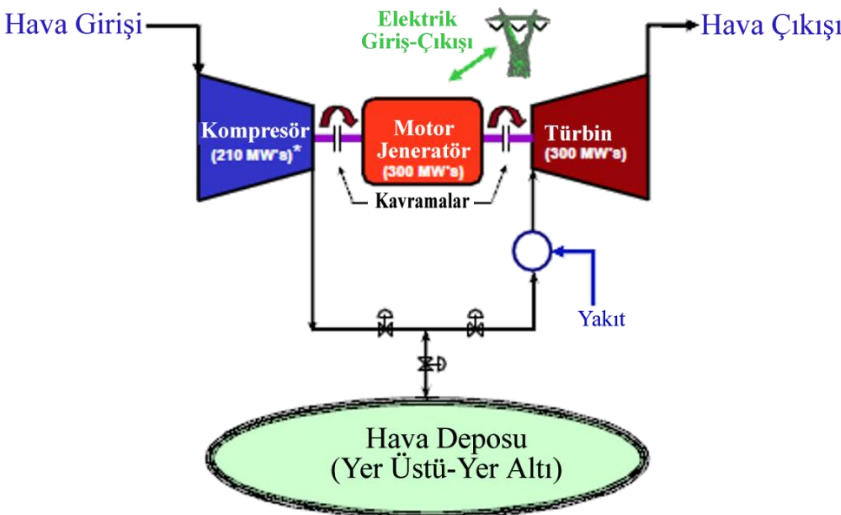
Yüksek basınç ve alçak basınç türbinleri seri bağlanarak havanın atmosferik basınca kadar düşürülerek enerjisinin tamamen soğurulması söz konusu olmaktadır.

Elektrik şebekesinde oluşabilen pik talep saatlerinde hava ısıtılmakta ve gaz yanma türbininde doğal gaz-basınçlı hava karışımı elektrik üretimi için beslenmektedir. Sadece doğal gaza dayalı bir elektrik üretim tesisinde enerjinin yaklaşık 2/3'ü havanın sıkıştırılması için kullanıldığından fiili üretime yansımamaktadır.



Şekil 4 çok kademeli yapılandırılmış depolama sistemi

Şekil 5'de tek bir elektrik sistemini motor ve jeneratör olarak kullanan bir sistem görülmektedir. Bu sistem daha çok küçük kapasiteli beton veya çelik tanklarda basınçlı havanın depolandığı sistemlerdir. Enerjinin şebekeden düzenli alınamadığı ya da pahalı olduğu zamanlarda çalıştırılarak enerji maliyetinden tasarruf sağlamak veya zorunluluklardan dolayı kullanılan sistemlerdir.



Şekil 5 Tek moto-jeneratörlü sistem [5]

Teknolojik Yöntemler



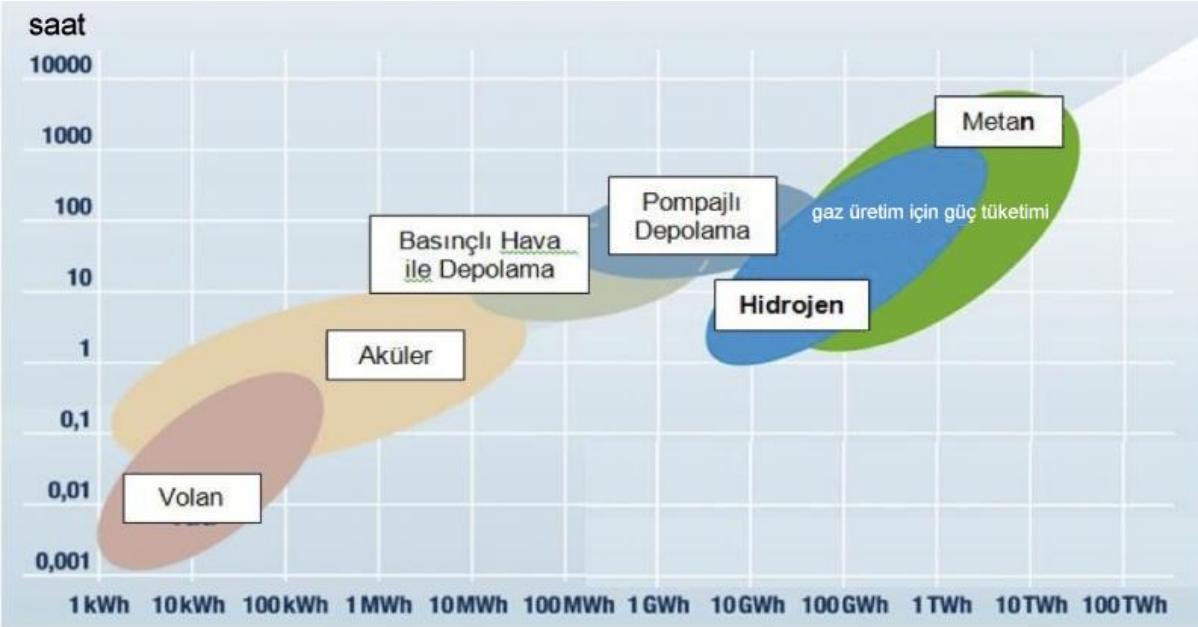
İki teknolojik yöntem uygulamalarda karşılaşılmaktadır. Basınçlı hava ile enerji depolama tesisleri genellikle iki farklı biçimde yapılandırılabilir: [6]

- **Adiyabatik Sistemler: (ACES)** Adiyabatik basınçlı hava enerji depolama sistemi, enerji depolama için genellikle yer altı kayaç boşlukları veya yer altı mağaraları gibi doğal alanlar kullanır.
- Bu sistem, hava sıkıştırıldığında ısınır ve enerjinin depolanması için kullanılır. Bu ısı daha sonra enerji geri kazanımı için kullanılabilir. Adiyabatik sistemlerde, hava depolama sırasında aynı sıcaklıkta tutulur. Hava yalnızca depolanmaz, aynı zamanda basınçlı hava oluşumu sırasına ortaya çıkan ısıda ayrı bir depolama tankında depolanır, Kompresör çıkışında basınçlı hava sıcaklığı 600°C'ye kadar çıkmaktadır. [7] Bu yüksek sıcaklıktaki ısı enerjisi bir tankta toplanacak ve depolanan ısı, hava tekrar hava türbinine gönderilirken bir reküperatörle tekrar ısıtılacaktır, böylece doğal gaz kullanımı olmadan da sitem elektrik üretebilir hale gelecektir. Bu sayede verim %70'lere kadar ulaşabilmektedir. Sistem henüz ticari olarak kullanım aşamasında değildir, Çünkü bu sistemin uygulanabilmesi, bu sıcaklıktaki havanın hemen absorbe edilip depolanabilmesi, yüksek sıcaklığa dayanımlı kullanılacak borular ve tesisat elemanları ile ileri türbo makinalar gerektirmektedir. [8]
- **Diyabatik Sistemler: (DBHED)** Diyabatik basınçlı hava enerji depolama sistemi, hava depolama sırasında ısıtılmaz veya soğutulmaz. Bu sistem, enerjinin depolanması ve geri kazanılması için kullanılan bir dizi kompresör ve genişletici kullanır. Diyabatik sistemlerde, hava depolama sırasında tabi olduğu işlemlere göre soğuyabilir veya ısınabilir. [8]

Basınçlı hava enerji depolama sistemleri çeşitli yapılandırmalarla kullanılabilir. Örneğin, küçük ölçekli ev tipi diyabatik sistemler, ticari ölçekte ve büyük ölçekli endüstriyel adiyabatik sistemler mevcuttur. [8]

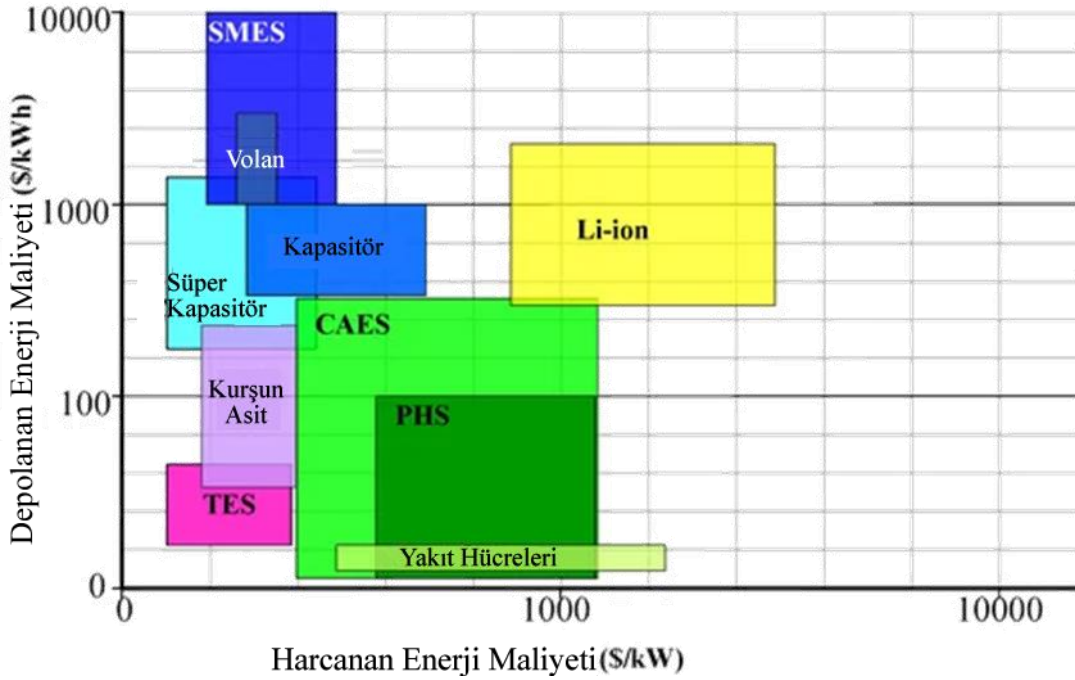
Ekonomik Değerlendirmeler

Ekonomik değerlendirmeler projelerin uygulanabilirlik analizlerinde ön plana çıkmaktadır. Ancak bazı durumlarda stratejik olarak ya da depolama gereksinimlerinin büyüklüğü sebebi ile yatırımlar ekonomik kazanımlara ve yatırım maliyetlerine bakılmaksızın uygulanabilmektedir. Basınçlı hava projeleri genelde bu sınıfta yer almaktadır. Şekil 6'da verilen depolama kapasitesi coğrafi zorunluluklarla tercih edilebilir hale gelebilmektedir.



Şekil 6 Kapasite ve hizmet sürelerine göre enerji depolama yöntemleri [4]

Montaj maliyetleri yaklaşık 50 USD/kWh'dir. Eğer maden veya yer altı tuz ocakları gibi yapay veya doğal oluşmuş rezervuar var ise bu 40 USD/kWh'a düşebilir. Şekil 7'de alternatif enerji depolama yöntemlerine göre maliyet konumlanması görülmektedir. Kapasitesinin yüksek olması ve coğrafi şartların gereği olarak bu maliyetler değerlendirilmekte ve proje uygulanabilir olmaktadır. Çoğu zaman getiriye kazanımlara göre, maliyetin yüksek olması geri ödeme süresini uzatmakta ve projenin uygulanabilir olmasını engellemektedir.



Şekil 7 Enerji tüketim ve kazanım maliyetleri [6]



Enerji kapasiteleri ve maliyetleri yatırım kararlarında önemli yer tutmaktadır. Bu amaçla alternatif yöntemlere göre her zaman değerlendirme ihtiyacı doğmaktadır. Tablo 1’de diğer yöntemlerle mukayese edilebilecek net rakamsal değerler verilmiştir.

Tablo 1 Diğer depolama sistemlerine göre ekonomik şartlar [1]

Depolama Yöntemi	Yakıt Hücresi	Volanlar (Düşük Hız)	Volanlar (Yüksek Hız)	Hidroelektrik Depolama	Basınçlı Hava Depolama	Süperiletken Man. Enerji Depolama	Süper Kapasitör
Yat.Mal./ MW [S]	15.000	300.000	25.000.000	7.000	2.000	10.000	28.000.000
Ağırlık/ MWh [kg]	30	7.500	3.000	---	2,5	10	10.000
Verim	0,45-0,8	0,9	0,93	0,8	0,85	0,97	0,95
Bak. Mal./ MWh[S]	10	3	4	4	3	1	5
Kapasite [kWh]	0,3-2.000	50	750	22.000	2.400	0,8	0,5
Ekonomik Ömrü [Yıl]	10	20	20	40	30	40	40

Basınçlı havanın MW başına ilk yatırım maliyeti kapasite uygun olursa en düşük değerdedir. MW başına tesis ağırlığı da en düşüktür. Bu durum kurulum maliyetlerinde belirleyici olmaktadır. Verimlilikte ise rekabeti sınırlıdır. Ekonomik ömrü ve kapasite değerleri ortalama düzeyde kalmaktadır.

Çoğunlukla coğrafi şartlara bağlı olarak zorunlu durumlarda uygulamaya alınan depolama yatırımlarıdır.

Uygulamalar

Almanya'nın kuzeyinde bulunan The Huntorf plant, 1978 yılında 290 mW kapasiteli tesis ilk ticari ünitedir. Dünyada iki adet sıkıştırılmış hava depolamalı doğal gaz elektrik üretim tesisi işletilmektedir.

Tesisler ile ilgili özet bilgiler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2 Uygulamadaki tesisler

Konum	Teaside-İngiltere	Chevron, Texas-ABD
Depo Türü	Derin tuz yatağı	Derin tuz yatağı
Depo Hacmi [m ³]	3 x 150,000.	580,000.
Depo Derinliği [m]	Yaklaşık 370	850-1150
Gaz Basıncı [bar]	45 (sabit)	70-135 arası
Enerji Kapasitesi [GWh]	24.4	83.3

Tesite havanın ısıtılmasında ihtiyaç duyulan enerjinin kısıtlanması için ısı depolamalı adyabatik sıkıştırılmış hava depolama (ABHED) konseptleri üzerinde çalışılmaktadır. BHED tesislerinde genel verimlilik %42-54 civarında oluşurken, ABHED tesisleri ile enerji verimliliğinin %70 seviyelerinde gerçekleşeceği belirtilmektedir. Coğrafi sınırlamalar dikkate alınarak ve CO₂ emisyonlarını arttıran yakıtlar kullanmaksızın doğal mağara ve tuz yataklarında havayı sıkıştırarak depolayan ve boşaltan sistemlerdir. kWh başına düşük işletim maliyeti bu tesislerin avantajıdır. %40-55 verimlilik aralığında en az 30 yıl gibi hizmet edebilecekleri öngörülmektedir.



tmmob
makina mühendisleri odası



Şekil 8 The Huntorf plant [9]

17-18 KASIM 2023 – KOCAELİ

VI. ENERJİ VERİMLİLİĞİ KONGRESİ



Proje Adı	Yer	CAES Teknolojisi	Proje Amacı	Proje Durumu	Aktif Old. Yıllar	Güç [MW]	Kapasite [MWh]	Verimlilik [%]	Depolama Basıncı [bar]	Depolama Yöntemi
Norton CAES fabrikası	Norton, Ohio, ABD	Konvansiyonel diyabatik, gaz yakatlı	Ticari	Gerçekleşmedi	2001-2013	800-2700	-	-	55-110	Akifer depolama/yeniden tasarlanmış kireçtaşı madeni
GAELECTRIC Kuzey İrlanda	Islamdagee, Co Antrim, Birleşik Krallık	Konvansiyonel diyabatik, gaz yakatlı	Ticari	Gerçekleşmedi	2008-2019	200 (ücretli) 330 (değersiz)	1980	-	-	Çözelti mayınlı tuz mağarası
Seneca CAES Projesi	Reading, New York, ABD	Konvansiyonel diyabatik, gaz yakatlı	Gösteri	Gerçekleşmedi	2010-2012	130-210	2000	-	-	Çözelti mayınlı tuz mağarası
SustainX Ahılı Şebeke Programı	Seabrook, New Hampshire, ABD	Sıkıştırma ve genleşme sırasında sürekli ısı transferi sağlamak için kullanılan izotermal, yenilenebilir su-köpük kazanı	Gösteri	Üretiliyor	2013-2015	2.2 (ücretli) 1.65 (değersiz)	1	54	12-207	Yer üstü basınçlı kaplar
ADELE projesi	Staßfurt, Almanya	Adiyabatik, hassas ısı deposu	Ticari	Üretiliyor	2010-2016	200	1000	70	100	Çözelti mayınlı tuz mağarası
TEC-500	Tsinghua Üniversitesi, Çin	Adiyabatik, hassas ısı deposu	Gösteri	Etkin	2014 - günümüz	0.5	0.5	33	30-110	Yerüstü depolama tankı
Çin Bilimler Akademisi, CAES gösteri tesisi	Eyue Şehri, Guizhou, Çin	Adiyabatik, hassas ısı deposu	Gösteri	Etkin	2017 - günümüz	2.8 (ücretli) 10 (değersiz)	40	62.3	70	Yerüstü depolama tankları
AA-CAES'in pilot ölçekli gösteri tesisi	Gotthard base tunnel, Biasca, İsviçre	Adiyabatik, duyarlı ısı/kombine duyarlı-güç ısı deposu	Gösteri	Etkin	2017 - günümüz	0.7	-	63-74	8	Daha önce kazınmış asırsız kaya mağarası
Zhongyan Jintan CAES	Jintan, Jiangsu, Çin	Adiyabatik, hassas ısı deposu	Ticari	Yetkili	2017 - günümüz	50-60	200-300	-	-	Çözelti mayınlı tuz mağarası
Godenich A-CAES tesisi	Godenich, Ontario, Kanada	Adiyabatik, mağara sular alın da kaldı ve izobank depolama için kullanılan hidrostatik basınç	Ticari	Etkin	2019 - günümüz	2.2 (ücretli) 1.75 (değersiz)	7	>60	-	Özellikle mayınlı mağara
Apex CAES Beytel Enerji Merkezi	Tennessee Kolonisi, Tekzas, ABD	Konvansiyonel diyabatik, gaz yakatlı	Ticari	Yetkili	2019 - günümüz	304-487	16,000	-	-	Çözelti mayınlı tuz mağarası
Feicheng A-CAES	Feicheng, Shan dong, Çin	Adiyabatik, hassas ısı deposu	Ticari	Etkin	2019 - günümüz	1250 (bekleniyor)	7500	67	-	Yeniden tasarlanmış tuz ve kömür madeni mağarası
PC&E Geliştirilmiş Yeraltı CAES	San Joaquin County, Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri	Konvansiyonel diyabatik, gaz yakatlı	Ticari	Yetkili	2020 - günümüz	300 (bekleniyor)	-	-	-	Tükenmiş doğal gaz deposu
Angas A-CAES tesisi	Srath albyn, Güney Avustralya, Avustralya	Adiyabatik, mağara sular alın da kaldı ve izobank depolama için kullanılan hidrostatik basınç	Ticari	Yetkili	2022 (bekleniyor)	5	10	>60	-	Yeniden tasarlanmış çinko madeni

Tablo 3 Dünya'da gerçekleştirilen projelerin konumlarına göre; teknolojileri, depolama yöntemleri ve proje amaçları. [10]

Mevcut BHED teknolojilerinin yeni tesislerde uygulanmasının aksine, yeni BHED yöntemleri geliştirilmekte ve test edilmektedir:

Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama Sistemleri Güçlü Yönleri

- Nispeten maliyetinin düşük olması
- Karbon ayak izinin düşük olması
- Uzun ömürlü olması 30 yıl.
- Düşük Self-Discharge

Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama Sistemleri Zayıf Yönleri

- Coğrafi kısıtlar
- Yüksek yatırım maliyeti
- Termal depolamada yüksek Self-Deşarj
- Yatırım geri dönüş süresinin uzun olması

BHED Sistemleri Avantaj ve Dezavantajları

Basınçlı hava ile enerji depolama sistemleri, enerji depolama için kullanılan yenilenebilir bir enerji depolama teknolojisidir. Sistemin avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:



Avantajları:

- Çevre dostudur: Basınçlı hava enerji depolama sistemi, çevre dostu bir teknolojidir. Depolama sırasında atmosfere herhangi bir kirletici madde salınmaz ve bu nedenle çevre üzerinde olumsuz bir etkisi yoktur.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarına uygun: Basınçlı hava enerji depolama sistemleri, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjiyi depolama kapasitesine sahiptir. Rüzgar veya güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli kullanımına yardımcı olur.
- Düşük işletme maliyetleri: Basınçlı hava enerji depolama sistemleri, düşük işletme maliyetleri ile birlikte gelir. Sistem, diğer enerji depolama sistemlerine kıyasla daha ucuzdur ve düşük maliyetli bakım gerektirir.
- Yüksek verimlilik: Basınçlı hava enerji depolama sistemi, yüksek verimlilik oranı ile çalışır. Depolama sırasında enerjinin kaybı minimum seviyededir ve geri kazanımı kolaydır.
- Esnek kullanım: Basınçlı hava enerji depolama sistemleri, farklı boyutlarda ve kapasitelerde tasarlanabilir ve farklı enerji depolama gereksinimlerine uygun olarak kullanılabilir.

Dezavantajları:

- Düşük enerji yoğunluğu: Basınçlı hava enerji depolama sistemi, diğer enerji depolama teknolojilerine kıyasla düşük enerji yoğunluğuna sahiptir. Bu nedenle, büyük ölçekli enerji depolama projeleri için daha fazla alana ihtiyaç duyulabilir.
- Yüksek maliyet: Basınçlı hava enerji depolama sistemi, diğer enerji depolama sistemlerine göre daha yüksek bir maliyete sahip olabilir. Bu, yüksek maliyetli ekipman gerektiği için olabilir.
- Sınırlı depolama kapasitesi: Basınçlı hava enerji depolama sistemleri, depolama kapasiteleri sınırlıdır. Bu nedenle, büyük ölçekli enerji depolama projeleri için yeterli olmayabilir.
- Gürültü kirliliği: Basınçlı hava enerji depolama sistemi, havanın sıkıştırılması ve genişletilmesi sırasında gürültü kirliliğine neden olabilir.

Çevresel Etkiler

Basınçlı hava ile enerji depolama, enerji depolama sistemleri arasında çevresel etkileri en az olanlardan biridir. Ancak, bu sistemlerin de bazı çevresel etkileri vardır. İşte basınçlı hava enerji depolama sistemlerinin çevresel etkileri:

- Yeraltı kaya oluşumları veya tuz kubbeleri kullanıldığında, bu boşlukların deformasyonuna veya çökmesine neden olabilir.
- Basınçlı hava depolama sistemleri, enerji kaynağından bağımsız çalışabilen enerji ağları için potansiyel bir çözüm olsa da, enerjiyi depolamak için kullanılan elektrik enerjisi nedeniyle, bu sistemlerin bir kısmı fosil yakıt kullanılarak üretilen elektrik enerjisine bağımlıdır.
- Basınçlı hava depolama sistemleri, yüksek basınçlı havayı depolamak için genellikle çok sayıda çelik veya beton tank gerektirir. Bu tankların imalatı, nakliyesi ve montajı çevresel etkilere neden olabilir.
- Basınçlı hava depolama sistemleri, diğer enerji depolama sistemlerine kıyasla daha düşük enerji yoğunluğuna sahiptir, bu da daha fazla alan gerektirebilir.



- Basınçlı hava depolama sistemleri, havanın sıkıştırılması ve genişletilmesi sırasında gürültü kirliliğine neden olabilir.

Özetle, basınçlı hava enerji depolama sistemleri çevresel etkileri en az olan enerji depolama sistemlerinden biridir ancak yine de bazı çevresel etkilere neden olabilir. Bu etkilerin azaltılması için, sistemlerin tasarımı ve işletmesi sırasında çevresel etkilerin minimize edilmesi gerekmektedir.

Sonuç

Enerji arzı ve talebi gerçek hayatta birebir ilişki içinde olmadığı için kontrollü denge yönetimi ihtiyaçlarına bağlı olarak; tersine çevrilebilir enerji depolaması pek çok alışılmadık teknolojileri kullanıma alılabilmektedir. Dengeleme tesisinin depolama kapasitesi, büyüklüğü ve hangi teknoloji ile maliyet etkin bir şekilde uygulanması düşük enerji yoğunluğuna ve coğrafi koşullara bağlı olmasına rağmen yüksek kapasitelerde enerji depolanabilmesi sebebi ile bu yöntemi gündemimize taşımaktadır.

Yatırım maliyetinin yüksek olması ve teknolojinin yeni geliştiren olması uygulamaların önündeki diğer olumsuz faktörlerdir. Adiabatik sistemlerin gelişmesi verimliliği arttırarak uygulamaların yaygınlaştırılmasına olumlu etki yaratacaktır. Diğer önemli faktör karbon piyasalarının gelişmesidir. Piyasa gelişim sonrası elde edilecek gelirler yüksek maliyetli bu yatırımın geri ödeme süresinin daha da kısılacağı tahmin edilmektedir.

İşletmelerin fizibilite çalışmalarında yapılan hataların azalımı doğrudan bu konudaki araştırma ve geliştirme amaçlı tesislerden alınan deneyimlere bağlıdır. Bu uygulamalardaki veriler verimlilik artışı ile birlikte daha rasyonel değerlendirmelerin yapılmasını mümkün kılacaktır.

Önümüzdeki günlerde, yeşil mutabakat yaklaşımı ile geliştirilen politikaların BHED teknolojilerini daha ileri aşamaya taşıyarak yaygınlaştırılmasını sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1] B. Koçaman, « Akıllı Şebekeler ve Mikro Şebekelerde Enerji Depolama Teknolojileri,» *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, pp. 119-127, 1 2 2013.
- [2] N. Özdemir ve M. Hadra, «Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçin Depolama Yöntemleri». *Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği*.
- [3] J. A. Michael King, «COMPRESSED AIR ENERGY STORAGE: MATCHING THE EARTH TO THE TURBO-MACHINERY-NO SMALL TASK».
- [4] Voltimum, «Temiz ve sürdürülebilir bir gelecek için hidrojen enerjisi teknolojileri,» 2023. [Çevrimiçi]. [Erişildi: 2023].
- [5] EPRI, «Compressed Air Energy Storage (CAES),» 23 12 2021. [Çevrimiçi]. [Erişildi: 11 11 2022].
- [6] J. Wang, K. Lu, L. Ma, J. Wan, M. Dooner, S. Miao, J. Li ve D. Wang, «Overview of Compressed Air Energy Storage and Technology Development,» *energies*, 13 07 2017.



tmmob
makina mühendisleri odası

- [7] IRENA International Renewable Energy Agency, «ELECTRICITY STORAGE AND RENEWABLES: COSTS AND MARKETS TO 2030,» International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2017.
- [8] S. Gündem, «Elektrik Enerjisi Depolama Sistemleri – II,» 9 9 2020. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.mmo.org.tr/istanbul/haber/elektrik-enerjisi-depolama-sistemleri-ii>. [Erişildi: 11 11 2022].
- [9] Weekly Utilitiy, «The state of storage,» [Çevrimiçi]. [Erişildi: 11 11 2022].
- [10] A. J. R. B. J. M. J. W. Marcus King, «Overview of current compressed air energy storage projects and analysis of the potential underground storage capacity in India and the UK,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. Volume 139, 110705 - ISSN 1364-0321, 04 2021.



tmmob
makina mühendisleri odası

Toprak Kaynaklı Isı Pompalı Radyant Isıtma Sisteminde Enerji ve Ekserji Analizi Ahmet Dogan^a, Nurullah Kayaci^b, Hakan Demir^b

^a *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye*

^b *Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye*

Özet

Enerji tasarrufu, fosil yakıt tüketiminin azaltılması ve iklim değişikliğiyle mücadele etme çabaları, küresel ölçekte öncelikli konular arasında yer almaktadır. Bina ısıtma ve soğutmasında, konvansiyonel sistemler yerine radyant ısıtma ve soğutma (RIS) sistemlerine odaklanmak, enerji verimliliğinin yanı sıra ısı konforu açısından da önemli katkılar sağlayacaktır. Radyant ısıtma ve soğutma sistemleri, kabul edilebilir bir ısı konfor seviyesi sunabilme ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla uyumlu olma özellikleri sayesinde sistem verimliliğini artırmaktadır. Bu çalışmada, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi bünyesinde yer alan toprak kaynaklı ısı pompası ile entegre duvar ve tavanda radyant paneller bulunan ofis odası sisteminin enerji, ekserji performans analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerin doğru bir şekilde yapılabilmesi için, toprak ve mahal su giriş çıkış sıcaklıkları, tüm çevrimlerin debi ölçümleri, ısı pompası grubundaki tüm ekipmanların güç tüketimleri, oda içi ve dış hava sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ayrıca bu çalışmada radyant panellerin farklı konfigürasyonlarında ölçümler alınarak sistem ekserji yıkımı ve performansı karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Radyant ısıtma sistemi, TKIP, enerji ve ekserji analizi

*Sorumlu Yazar: adogan@erzincan.edu.tr, Telefon: +9 (446) 224 00 88

1. GİRİŞ

17-18 KASIM 2023 – KOCAELİ

V I . E N E R J İ V E R İ M L İ L İ Ğ İ K O N G R E S İ



Özellikle bina sektörü, küresel enerji tüketiminin %30'unu oluşturarak endüstri ve ulaşım sektörlerini geçmektedir[1]. Türkiye'de ise bina sektörü, toplam enerji tüketiminin %32,3'ünü oluşturarak enerji tüketimi ve karbon emisyonları üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir [2]. Bu nedenle, binalardaki enerji tüketiminin azaltılması, çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletmek açısından kritiktir. Bu bağlamda Türkiye (Türkiye İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı 2011-2023), Avrupa (Binaların Enerji Performansı Direktifi (EPBD)) ve dünya genelindeki anlaşmalar (COP21), hükümetlerin binalarda "neredeyse sıfır" enerji tüketimi stratejilerini ortaya koyan yasal düzenlemeleri ve yönetmelikleri sergilemektedir. Bu nedenle, bina enerjisi tasarruf etmek, fosil yakıt tüketimini azaltmak ve iklim değişikliğini en aza indirmek, tüm dünya için önde gelen konulardan biridir. Bu talebi karşılamak için verimlilik esasına dayalı daha iyi tasarımlar, yenilenebilir enerji sistemleri ile entegre binalar inşa etme, yüksek verimli HVAC ekipmanları kurma ve bina dış zarfın performansını artırma gibi birçok önlem alınabilir[3]. Bu önlemler arasında pencere gölgelendirmesi, enerji kaybını en aza indirme ve yüksek güneş ısı kazançları açısından bir binanın en az verimli kısmı olduğu için sıcak yaz ve soğuk kış bölgelerinde değerli bir stratejidir.

Literatürde, GSHP (Toprak Kaynaklı Isı Pompası) sistemleri hakkında birçok çalışma bulunmaktadır [4–9]. Akbulut vd.[10], Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü'nde bulunan Yıldız Yenilenebilir Enerji Evi'nde dikey yer kaynaklı ısı pompası duvar ısıtma sistemini, deneyler ve teorik analizlerle incelenmiştir. Çalışma, bina ve ısıtma sisteminin üretim aşamasından kabuğuna kadar ekserji, eksergo-çevresel ve eksergo-ekonomik açılarından değerlendirilmiş ve sonuçlar, sistemin performansını düşük ekserji, eksergo-çevresel ve eksergo-ekonomik analizlerle inceleyerek sunulmuştur. Enerji ve ekserji verimleri ile aylık ortalama ekserji temelli çevresel etki değeri de dahil olmak üzere çeşitli parametreler değerlendirilmiş ve sonuçlar sunulmuştur. Kilkis [11], radyant panellerin enerji verimli duysal ısıtma ve soğutma sistemleri olarak bilinmesine rağmen, düşük ekserji atıkları ve alternatif enerji kaynakları ile uyumlu olmadığına etkin olmayabileceğini vurgulamıştır. Bu nedenle, radyant panellerin yer kaynaklı ısı pompaları ve yenilenebilir enerji kaynakları ile optimal bir şekilde kullanılması, CO² emisyonlarını önemli ölçüde azaltma potansiyeli taşıdığını belirtmiştir. Ayrıca çalışmada düşük ekserji binaları için yeni bir bakış açısı sunmakta ve bu sistemlerin etkili kullanımını desteklemektedir. Memberg vd. [12], enerji analizi ile karşılaştırıldığında ekserji analizi ile hibrid yer kaynaklı ısı pompası sistemlerinin performansını değerlendirerek farklı enerji akışlarının kalitesini ölçme ve sistemin verimsizliklerini belirleme yeteneği sunduğunu göstermektedir. Özellikle, sistemin ısıtma ve soğutma modlarında ekserji tüketimini karşılaştırarak, sistemdeki ekserji verimliliğini incelemiş ve ısıtma modunda daha yüksek olduğunu bulmuştur. Bu çalışma, enerji temin sistemlerinin işletme ayarlarını ve bina kabuğunu iyileştirme gibi önlemlerin, sistemin ısıtma performansını artırmada soğutma performansından daha etkili olduğuna işaret etmektedir. Bu nedenle, enerji tasarrufu ve ekserji verimliliği artırma çabaları konusunda önemli bir referans kaynağı olduğunu belirtmişlerdir. Hepbaslı ve Akbulut [13], Türkiye'de yeraltı ısı pompa sistemlerinin enerji ve ekserji analizine



tmmob
makina mühendisleri odası

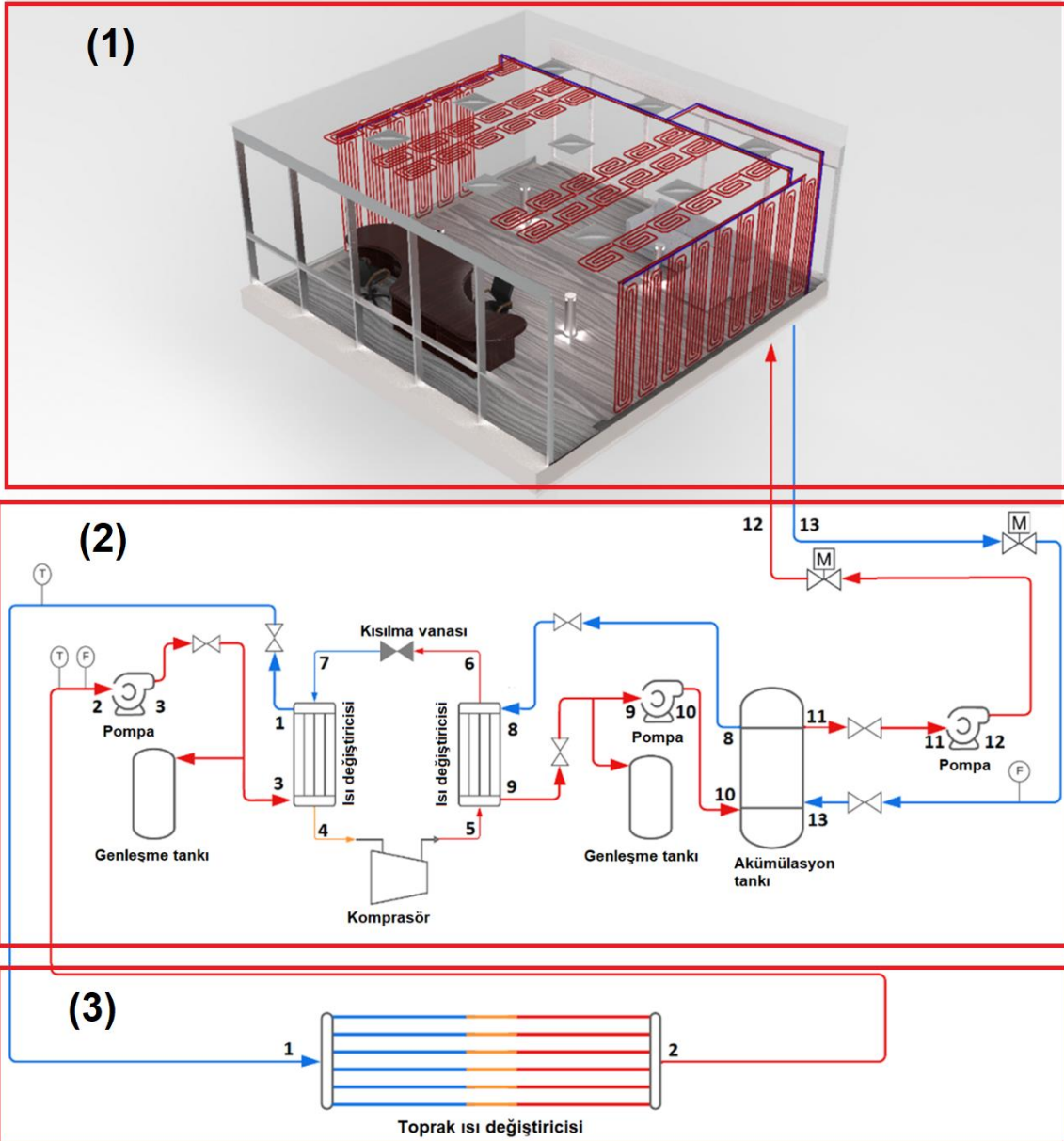
odaklanmaktadır. Yaptıkları çalışmada, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde uygulanan 50 m dikey bir yer ısı değiştiriciye sahip TKIP sisteminin performansını değerlendirmekte ve bu sistemin ekserji tüketimini detaylı bir şekilde incelemektedir. Aynı zamanda, çalışma TKIP sistemi için bir ekserji diyagramı sunarak, sistemdeki ekserji girişinin bileşenler arasında nasıl dağıldığını göstermekte ve Türkiye'deki yeraltı ısı pompa sistemleri uygulamalarına ve gelecekteki araştırmalara katkı sağlamaktadır. Memberg ve diğer araştırmacılar, 345m²'lik bir yapının ısı konforunu sağlamak için yeraltı ısı pompa (GSHP) kullanan bir sistem üzerine veriler sunar ve bu sistemle ilgili analizler, performans ölçümleri ve sonuçlar sunar. Çalışma, enerji verimli bileşenlerle donatılmış bir evin termal yükünü karşılayan bir 2.16 ton (7.56 kW) GSHP ünitesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Performans analizi, toplam güç girişi dikkate alınarak bir performans katsayısı hesaplanmasını içerir ve ekserji analizi, sistemdeki verimlilik kayıplarının ve enerji israfının nedenlerini belirlemeye yönelik daha ayrıntılı bir perspektif sunar.

Kayaci yaptığı çalışmada, İstanbul'da 200 m² bir ofisin ısıtma ve soğutma ihtiyacını karşılayan bir TKIP sisteminin enerji, ekserji ve ekonomik analizini incelemektedir. On yıllık bir dönemi içeren sayısal simülasyonlar ve deneysel doğrulamalarla TKIP sisteminin performansı incelenmiş, farklı bileşenlerin COP, ikinci yasa uygunluk ve ekserji yıkımı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, yaptığı çalışmada TKIP sistemlerinin tasarım ve performans optimizasyonunda önemli katkılar sağladığını göstermiştir. 345m²'lik bir yapının ısı konforunu sağlamak için Ally vd. [14] TKIP sistemi üzerine veriler sunarak bu sistemle ilgili performans analizleri ve ölçümleri sunmaktadır. Çalışmada 7.56 kW kapasitesindeki TKIP ünitesi bir evin enerji termal ihtiyacını karşılayacak en verimli şekilde kullanılmaya çalışılmıştır. Performans analizi, toplam güç girişi dikkate alınarak bir performans katsayısı hesaplanmasını içermekte ve ekserji analizi, sistemdeki verimlilik kayıplarının ve enerji israfının nedenlerini belirlemeye yönelik daha ayrıntılı bir perspektif sunmaktadır.

Bu çalışmada, enerji tasarrufu, çevresel sürdürülebilirlik ve konfor açısından önemli bir potansiyele sahip radyant ısıtma ve soğutma (RIS) sistemlerini değerlendirilmektedir. Yıldız Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda bulunan toprak kaynaklı ısı pompası sistemi üzerinde yapılan enerji ve ekserji analizleri, bu teknolojinin etkinliğini ve sürdürülebilirliğini incelemeyi amaçlamaktadır. Analizler, saha ölçümleriyle desteklenerek gerçek dünya koşullarına dayalı sonuçlar elde etmeye odaklanmaktadır. Ayrıca, test odasındaki farklı radyant panel konfigürasyonlarının sistemin ekserji performansına olan etkisini belirlemek için özgün ölçümler ve karşılaştırmalar içermektedir. Bu çalışma, RIS sistemlerinin uygulanabilirliğini ve etkinliğini kanıtlamak için saha verilerini kullanarak özgün bir yaklaşım sunmaktadır.

2. SİSTEM TANITIMI

Deneyel sistem, Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) Fen ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi binasında kurulmuştur. Sistem, toprak kaynaklı ısı pompası ile bağlantılı radyant tavan-duvar panellerini içermektedir. Deney sisteminin şematik görünümü Şekil 1’de kurulum ve son haline ait görseller Şekil 2’de gösterilmektedir. Sistem, test odası, kontrol odası ve toprak ısı değiştirici (TID) olmak üzere üç bölümden oluşmaktadır.



Şekil 1 Deney sistemi şematik gösterimi

Test odası (Şekil 2a) binanın giriş seviyesinde bulunmaktadır. Bu bölümde radyant paneller tarafından konfor ölçümleri yapılmaktadır. Oda güneydoğu tarafında 2m x 0,6m boyutlarında 6 radyant duvar paneli bulunmaktadır. Ayrıca, kuzeybatı tarafında diğer 6 panelle aynı boyutta 9 radyant panel bulunmaktadır. Tavan panelleri, diğer radyant panellerden farklı boyutlarda ve sayılarda bulunmaktadır. Toplam tavan paneli sayısı 29'dur ve boyutları 1m x 0.6m'dir. Hem duvar hem de tavan radyant paneller, kollektör grubunda bulunan globe valfler ile kontrol edilebilmektedir. Test odasındaki radyant duvarlar ve tavanlar için bu ekipman tarafından ölçülen parametreler aşağıda sıralanmıştır: su akış hızı, iç hava hızı, nem, dış ortam sıcaklığı, koşullandırılmış ve koşullandırılmamış yüzey sıcaklıkları, iç sıcaklık ve koridor hava sıcaklığı. Yüzey ve iç hava sıcaklıkları toplam 51 T-tipi termokupl kullanılarak kaydedilmiştir. Radyant panellerin yüzey sıcaklıklarının yanı sıra soğutulmamış duvarlar, iç ve dış pencere yüzeyleri ve koridora bakan cam yüzeylerinin sıcaklıkları da dahil olmak üzere toplam 26 termokupl yüzey sıcaklıklarını kaydetmek için kullanılmıştır. Herhangi bir alandaki dikey sıcaklığı belirlemek, termal konfor ve enerji verimliliği açısından çok önemlidir. Şekil 2a'da gösterilen pozisyonları olan 2,5 m yüksekliğindeki beş metal stant üzerine yerleştirilmiş 23 termokupl kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Oda içerisinde alınan hava sıcaklık ölçümleri bu termokupulların yardımı ile yapılmıştır.





Şekil 2 Deney sisteminin, (a) radyant panellerin bulunduğu test odası, (b) ısı pompası grubunun bulunduğu mekanik oda ve (c) temel altındaki toprakta yer alan ısı değiştiricisi boruları

Sistemin ikinci bölümü olan ısı pompası grubu (Şekil 2b) bodrum kattaki mekanik odada yer almaktadır. Bu bölüm, ana ekipmanları ve kontrol grubunu içerir. Kontrol odasında, 10.5 kW ısıtma kapasiteli ve 8.5 kW soğutma kapasiteli bir ısı pompası gibi bir dizi ekipman bulunmaktadır. Ayrıca, genleşme ve biriktirme tankları, pompalar, ayırıcılar, anahtarlar, tüm ölçüm ekipmanları (termometre, manyetometre vb.) ve sistem kontrol paneli bulunmaktadır.

Son bölüm binanın altındaki zeminde yer almaktadır. Yer ısı değiştiricisi (GHE) boruları (Şekil 2c), 85 metre uzunluğunda ve borular arasındaki mesafe 0,5 metre olan 10 paralel boru içerir. Boruların sonunda, tüm borulara bağlı bir toplayıcı bulunur ve bu toplayıcı bina dışında yerleştirilir, ardından tüm borular binanın içine doğru hareket eder ve ısı pompası ünitesi ile bağlantılıdır. Deney sistemi hakkında daha detaylı bilgilere daha önce yapılan makalelerden bakılabilir [4–6,15,16].

Tablo 1 Deney düzeneği ekipman listesi

Ekipman	Teknik Özellikler
Toprak Kaynaklı Isı Pompası	Model: Restherma, IP11SS Isıtma, Nominal Kapasite: 10,5 kW Çalışma Sıcaklığı: -5 / +45 °C; Maks. Çıkış Su Sıcaklığı: +55 °C Soğutma, Nominal Kapasite: 8,5 kW Çalışma Sıcaklığı: +10 / +43 °C; Maks. Çıkış Su Sıcaklığı: +7 °C
Pompa-1	Model: Grundfos, MAGNA3 25-100 Maksimum Kütle Akışı: 78,5 m ³ /saat, Maksimum Pompa Basma Yüksekliği: 18 m, Maksimum Sistem Basıncı: 16 bar, Sıvı Sıcaklığı: -10 / +110 °C
Pompa-2 ve 3	Model: Grundfos, ALPHA2 25-80-180 Maksimum Kütle Akışı: 4,8 m ³ /saat, Maksimum Pompa Basma Yüksekliği: 5,8 m, Maksimum Sistem Basıncı: 10 bar, Sıvı Sıcaklığı: +2 / +110 °C
Akümülyasyon Tankı	Model: Resboyler, KAT 100 Litre Test Basıncı: 13 kg/cm ² , Çalışma Basıncı: 10 kg/cm ²
Genleşme Tankı	Model: Reflex, 15P1125 Çalışma Sıcaklığı: -10 / +120 °C, Maksimum Çalışma Sıcaklığı: +10 / +70 °C, Çalışma Basıncı: 6 bar



İç Hava kalitesi Ölçüm
Cihazı

Model: Testo 400, iç ortam konfor cihazı

CO₂ Prob: Ölçüm Aralığı: 0-10000ppm, -10 / +50 °C, %5 ila %95 RH

Globe Termometre: Ölçüm Aralığı: 0 / +120 °C

Türbülans Prob: Ölçüm Aralığı: 0-5 m/s, 0 / +50 °C

3. SİSTEMİN TERMODİNAMİK YAKLAŞIM İLE ANALİZİ

Deneylerden elde edilen veriler ışığında ekserji ve enerji hesaplamaları, aşağıda verilen denklemlerin Excel programında kullanılmasıyla yapılmıştır. Hesaplamalar için gerekli olan veriler, Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsünün Merkezi Laboratuvarında yer alan toprak kaynaklı ısı pompası sisteminden sağlanmıştır. Denklemler oluşturulurken Şekil 1 şematik gösterim referans alınarak oluşturulmuştur.

Genel enerji dengesi,

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out} \quad [1]$$

Isı, iş ve kütle tarafından gelen net enerji transfer oranı = Isı, iş ve kütle tarafından çıkan net enerji transfer oranı

ve,

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out} \quad [2]$$

\dot{m} kütle debisi

Genel enerji denklemi aynı zamanda şöyle ifade edilebilir:

$$\dot{Q}_{net} + \sum \dot{m}_{in} h_{in} = \dot{W}_{net} + \sum \dot{m}_{out} h_{out} \quad [3]$$

$\dot{Q}_{net} = \dot{Q}_{in} - \dot{Q}_{out}$ sistemdeki net ısı girişidir, $\dot{W}_{net} = \dot{W}_{out} - \dot{W}_{in}$ sistemden elde edilen net iş çıkışıdır, h ise birim kütle başına entalpidir.

Ekserji Denge Denklemleri

Sistemin genel ekserji dengesi, aşağıdaki terimlerle ifade edilir:

$$\dot{E}x_{in} - \dot{E}x_{out} = \dot{E}x_D \quad [4]$$

Net ekserji transferinin hızı ısı, iş ve kütle ile; ekserji yok edilme hızına eşittir.

Genel ekserji dengesi ayrıca şu şekilde ifade edilebilir:

$$\dot{m}_{in}\psi_{in} + \dot{E}x_{Q_{in}} + \dot{W}_{in} = \dot{m}_{out}\psi_{out} + \dot{E}x_{Q_{out}} + \dot{W}_{out} + \dot{E}x_D \quad [5]$$

veya şu şekilde yazılabilir:

$$\sum \dot{m}_{in}\psi_{in} + \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q}_k + \dot{W}_{in} = \sum \dot{m}_{out}\psi_{out} + \dot{W}_{out} + \dot{E}x_D \quad [6]$$

$$\psi = (h_i - h_0) - T_0(s_i - s_0) + \frac{V_i^2}{2} + gz_i$$

Burada, h entalpiyi, s entropiyi ve ψ akış enerjisini ifade eder. Kinetik ve potansiyel enerji değişkenleri ihmal edilebilir.

"0" alt dizini, ölü durumda olan özellikleri gösterir.

$$\dot{E}x_{Q_{in}} = \left(1 - \frac{T_0}{T_{source}}\right) \dot{Q}_{in} \quad [7]$$

$$\dot{E}x_{Q_{out}} = \left(1 - \frac{T_0}{T_{boundary}}\right) \dot{Q}_{out} \quad [8]$$

$\dot{E}x_{Q_{in}}$ and $\dot{E}x_{Q_{out}}$ ısı transferi nedeniyle aktarılan ekserji'yi ifade eder. Ayrıca şu şekilde ifade edilebilirler:

$$\dot{E}x_{heat} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q}_k = \dot{E}x_{Q_{in}} - \dot{E}x_{Q_{out}} \quad [9]$$

\dot{Q}_k ısı yükü oranı T_k sıcaklığındaki kondenserdan transfer edilen ısı transfer hızına eşittir.

$$\dot{S}_{in} - \dot{S}_{out} + \dot{S}_{gen} = 0 \quad [10]$$

Net entropi transfer hızı + entropi üretim hızı = 0

$$\dot{E}x_D = T_0 \dot{S}_{gen} \quad [11]$$

$\dot{E}x_D$ ekserji yıkım hızıdır ve T_0 çevre sıcaklığı ile \dot{S}_{gen} entropi üretim hızı çarpımına eşittir.

Tablo 1 Isı pompası sistemi kütle, enerji ve ekserji denge denklemleri

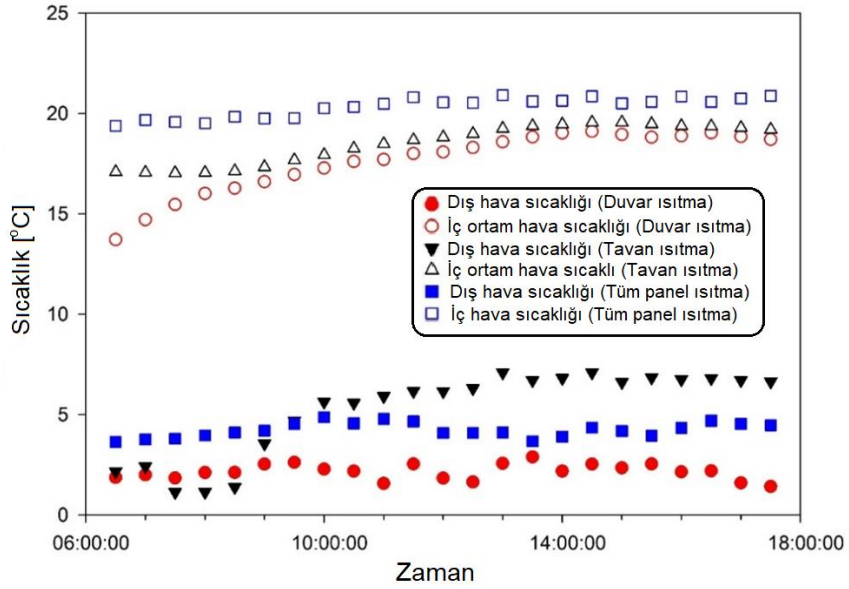
Bileşen	Kütle Dengesi	Enerji Analizi (Enerji Korunumu, 1. Yasası)	Ekserji Analizi (Entropi Dengelemesi ile Ekserji Yıkımı, 2. Yasası)
Toprak hattı Isı değiştiricisi	$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$ $= \dot{m}_{GHE}$	$\dot{E}_1 + \dot{Q}_{in} = \dot{E}_2 + \dot{Q}_{loss,GHE}$	$\dot{E}x_1 + \dot{E}x_{in} = \dot{E}x_2 + \dot{E}x_{D,GHE} + \dot{E}x_{loss,GHE}$ [12]



Isı Pompası	Pompa-1	$\dot{m}_2 = \dot{m}_3$	$\dot{E}_2 + \dot{W}_{p1} = \dot{E}_3 + \dot{Q}_{loss,p1}$	$\dot{E}x_2 + \dot{W}_{p1} = \dot{E}x_3 + \dot{E}x_{D,p1} + \dot{E}x_{loss,p1}$	[13]
	Kompresör	$\dot{m}_4 = \dot{m}_5$	$\dot{E}_4 + \dot{W}_{comp} = \dot{E}_5 + \dot{Q}_{loss,comp}$	$\dot{E}x_4 + \dot{W}_{comp} = \dot{E}x_5 + \dot{E}x_{D,comp} + \dot{E}x_{loss,comp}$	[14]
	Test odası ısı değiştiricisi	$\dot{m}_5 = \dot{m}_6$	$\dot{E}_5 + \dot{E}_8 + \dot{m}_{7R}(h_9 - h_8)$	$\dot{E}x_5 + \dot{E}x_8 + \dot{m}_{7R}\psi_{9,8}$	[15]
		$\dot{m}_8 = \dot{m}_9$	$= \dot{E}_6 + \dot{E}_9 + \dot{m}_{HP-U}(h_6 - h_5) + \dot{Q}_{loss,HE1}$	$= \dot{E}x_6 + \dot{E}x_9 + \dot{m}_{HP-U}\psi_{6,5} + \dot{E}x_{D,HE1} + \dot{E}x_{loss,HE1}$	
	Kısıtma vanası	$\dot{m}_6 = \dot{m}_7$	$\dot{E}_6 = \dot{E}_7 + \dot{Q}_{loss,exp}$	$\dot{E}x_6 = \dot{E}x_7 + \dot{E}x_{D,exp} + \dot{E}x_{loss,exp}$	[16]
	Toprak değiştiricisi	$\dot{m}_3 = \dot{m}_1$	$\dot{E}_3 + \dot{E}_7 + \dot{m}_{HP-U}(h_4 - h_7)$	$\dot{E}x_3 + \dot{E}x_7 + \dot{m}_{HP-U}\psi_{4,7}$	[17]
$\dot{m}_7 = \dot{m}_4$		$= \dot{E}_1 + \dot{E}_4 + \dot{m}_{GHE}(h_1 - h_3) + \dot{Q}_{loss,HE2}$	$= \dot{E}x_1 + \dot{E}x_4 + \dot{m}_{GHE}\psi_{1,3} + \dot{E}x_{D,HE2} + \dot{E}x_{loss,HE2}$		
Pompa-2	$\dot{m}_9 = \dot{m}_{10}$	$\dot{E}_9 + \dot{W}_{p2} = \dot{E}_{10} + \dot{Q}_{loss,p2}$	$\dot{E}x_9 + \dot{W}_{p2} = \dot{E}x_{10} + \dot{E}x_{D,p2} + \dot{E}x_{loss,p2}$	[18]	
Akümülayon tankı	$\dot{m}_{10} = \dot{m}_{11}$	$\dot{E}_{10} + \dot{E}_{13} = \dot{E}_{11} + \dot{E}_8 + \dot{Q}_{loss,AT}$	$\dot{E}x_{10} + \dot{E}x_{13} = \dot{E}x_{11} + \dot{E}x_8 + \dot{E}x_{D,AT} + \dot{E}x_{loss,AT}$	[19]	
	$\dot{m}_{13} = \dot{m}_8$				
Pompa-3	$\dot{m}_{11} = \dot{m}_{12}$	$\dot{E}_{11} + \dot{W}_{p3} = \dot{E}_{12} + \dot{Q}_{loss,p3}$	$\dot{E}x_{11} + \dot{W}_{p3} = \dot{E}x_{12} + \dot{E}x_{D,p3} + \dot{E}x_{loss,p3}$	[20]	
Test Odası	$\dot{m}_{12} = \dot{m}_{13}$	$\dot{E}_{12} = \dot{E}_{13} + \dot{Q}_{out} + \dot{Q}_{loss,TR}$	$\dot{E}x_{12} = \dot{E}x_{13} + \dot{E}x_{out} + \dot{E}x_{D,TR} + \dot{E}x_{loss,TR}$	[21]	

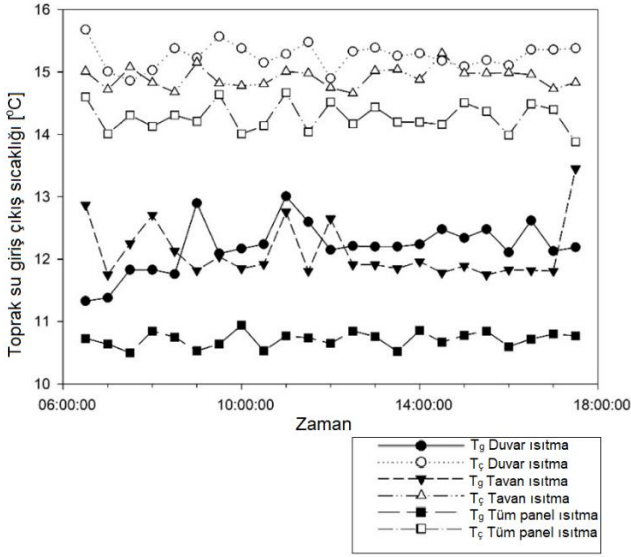
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Deneyler 3 farklı durum için 12 Aralık ve 14 Aralık 2022 tarihleri arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir. Deney sistemi 3 farklı panel konfigürasyonunda (duvar ısıtma, tavan ısıtma, tüm panel ısıtma olmak üzere) panel dönüş sıcaklıkları ısı pompası kontrol ünitesinden set edilerek yapılmıştır. Panel dönüş sıcaklığı set etme sıcaklıkları oda içerisinde ASHRAE 55 [17] konfor standardına uygun olacak şekilde yapılmaya çalışılmıştır. Deney sonucunda elde edilen verilerin farklı panel konfigürasyonundaki sistemin enerji ve ekserji performansı bu bölümde değerlendirilmiştir.

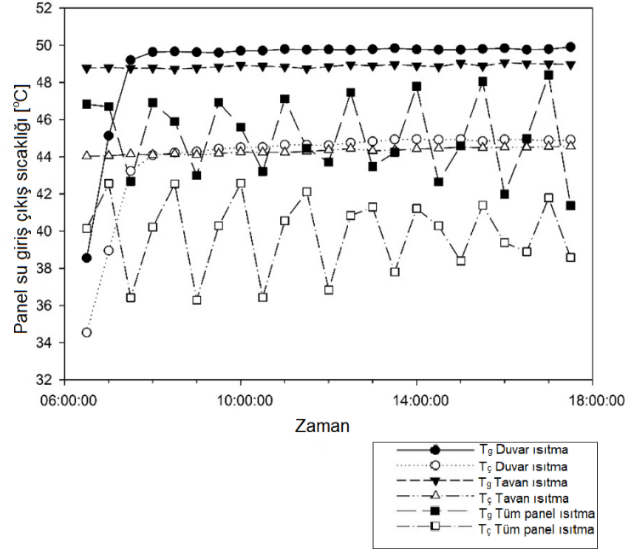


Şekil 3 Üç farklı durum iç ortam dış ortam hava sıcaklık değişimleri.

Enerji ve ekserji sonuçlarına geçmeden, hesaplamalar için kritik öneme sahip sıcaklık ölçümlerinin her bir durum için nasıl değiştiği Şekil 3 ve 4'te gösterilmiştir. Şekil 3'de 12-14 Aralık tarihinde sabah 06:00 ile 18:00 saatleri arasında dış ortam hava sıcaklığı ile oda içerisindeki ortalama hava sıcaklık değerlerin değişimleri gösterilmiştir. Duvardan ısıtma yapılan günlerde hava sıcaklığının diğer günlere göre ortalama 2 °C daha soğuk olduğu görülmüştür. Bu da oda içerisinde istenen sıcaklık değerlerine daha geç ulaşmasına sebep olmuştur.



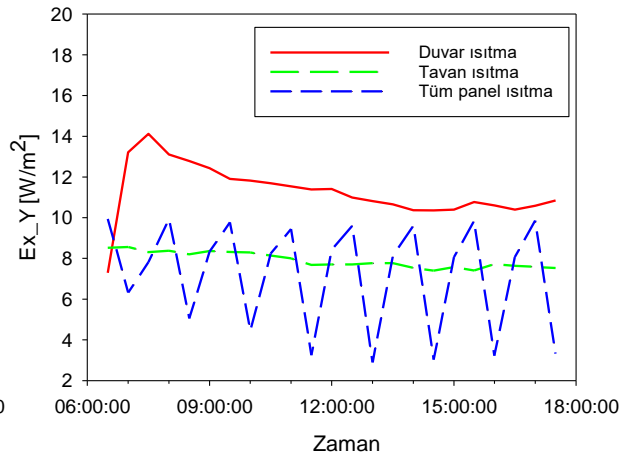
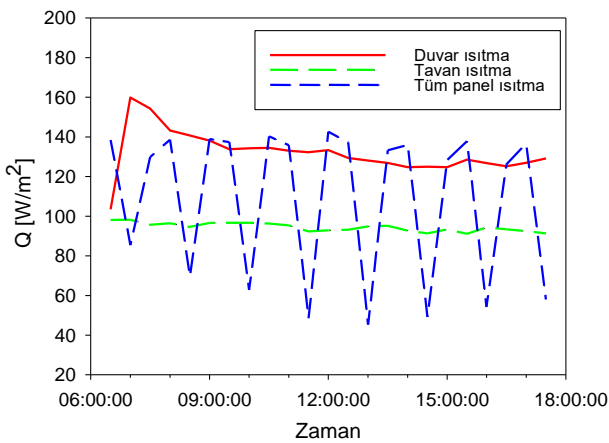
(a)



(b)

Şekil 4 Isı pompasından sağlanan, (a) toprak hattı su giriş çıkış sıcaklığı ve (b) panel hattı su giriş sıcaklığı

Şekil 4'de ısı pompasından toprak ve panel hattına giden suyun sıcaklıkları duvar, tavan ve tüm panel ısıtma için gösterilmektedir. Toprak hattına giden ve dönen ortalama su sıcaklık farkları duvar, tavan ve tüm panel ısıtma için sırasıyla 3 °C, 2,8 °C ve 3,5 °C olarak kaydedilmiştir. Panele giden ve panelden dönen su sıcaklık farkları duvar, tavan ve tüm panel ısıtma durumları için ortalama 5,1, 4,6 ve 5,3 olarak kaydedilmiştir. Duvar ve tavan ısıtma durumlarında ısı pompası en yüksek kapasitede çalıştırılmasına rağmen oda içerisinde standartlara uygun sıcaklıklara ulaşamamıştır.

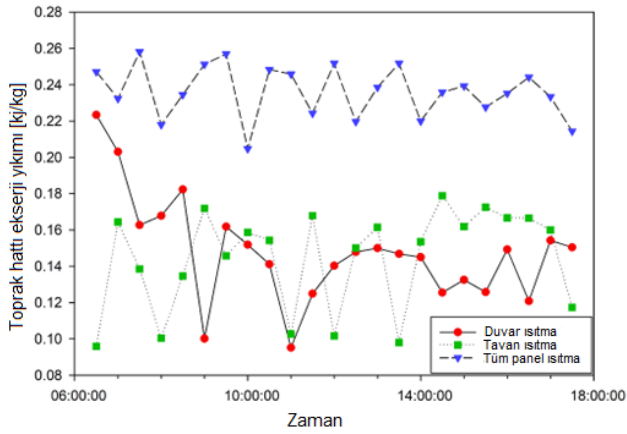


(a)

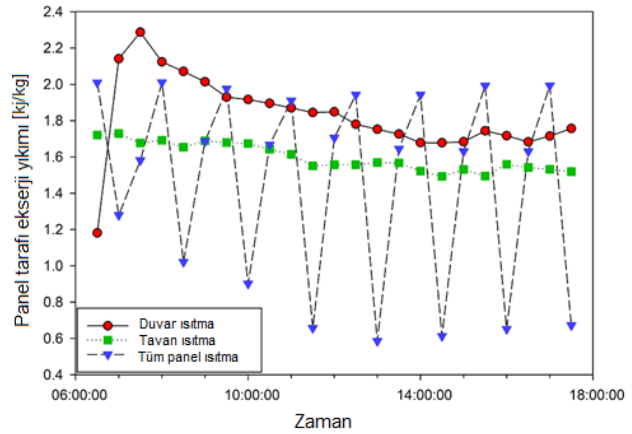
(b)

Şekil 5 Test odasına farklı durumlar için (a) aktarılan enerji miktarı ve (b) oluşan ekserji yıkımı.

Test odasına ısı pompası tarafından aktarılan enerji oranı ve test odasında gerçekleşen ekserji yıkımı değişimi duvar, tavan ve tüm panel ısıtma durumları için Şekil 5'te gösterilmiştir. Test odasının duvarında ve tavanında sırasıyla 18 m² ve 17,4 m² radyant panel olduğu göz önüne alındığında duvar ısıtma durumunda ortalama 132 W/m² ısı akısı test odasına aktarılmıştır. Tavan ve tüm panel ısıtma durumunda bu oran sırasıyla 95 W/m² ve 110 W/m² olarak kaydedilmiştir. Yüksek ısı akısının ve düşük dış ortam hava sıcaklığının etkisiyle duvardan ısıtma durumunda ekserji yıkımı ortalama 11,3 W/m² ile en yüksek durum olarak karşımıza çıkmıştır. Tavan ısıtmada ve tüm panel ısıtmada test odasında gerçekleşen ekserji miktarları sırasıyla 7,9 W/m² ve 7,2 W/m² olarak hesaplanmıştır. Oda içerisindeki hava sıcaklıklarının yükselmesi ve daha stabil hale gelmesi enerji tüketimini ve ekserji yıkımını düşürdüğü gözlemlenmiştir.



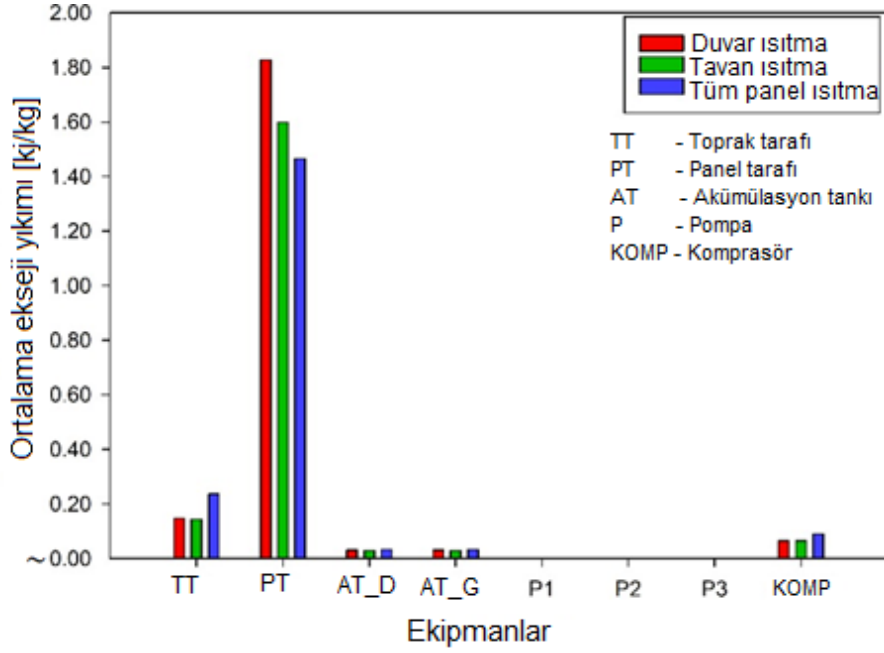
(a)



(b)

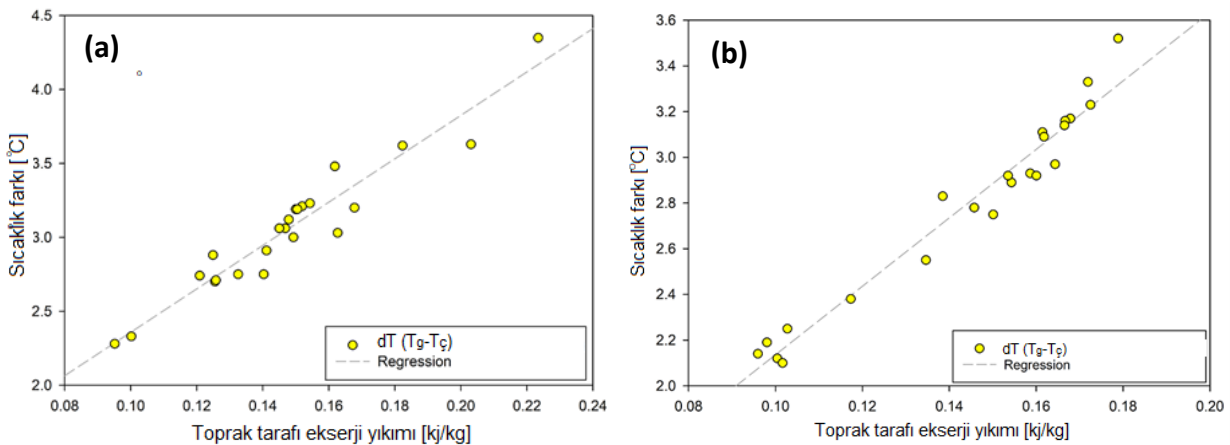
Şekil 6 Isı pompası sisteminin (a) toprak ve (b) panel tarafı ekserji yıkımları.

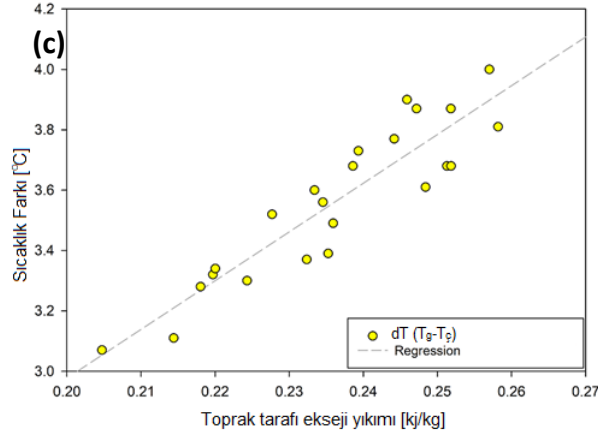
Şekil 6'da toprak ve panel hattında meydana gelen ekserji yıkımları farklı panel ısıtma konfigürasyonlarında karşılaştırılmıştır. Şekil 6a'da görüldüğü üzere toprak tarafında gerçekleşen ekserji yıkımı tüm paneller ısıtılırken en yüksek olmaktadır. Tüm panellerin ısıtıldığı durumda toprak su sıcaklığının diğer durumlara göre düşük olması daha yüksek ekserji yıkımına sebep olmuştur.



Şekil 7 Isı pompası sistemindeki ekserji kayıpların ekipmanlar üzerindeki dağılımı

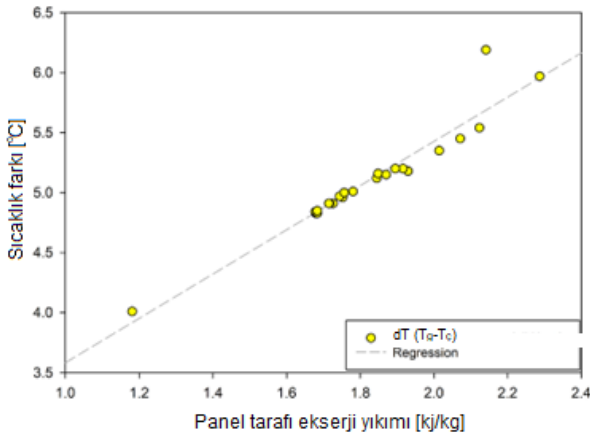
Isı pompası grubu üzerindeki ekipmanlar (pompa, akümülayon tankı), toprak ve panel hattı ekserji kayıpları duvar, tavan ve tüm panel ısıtma durumlarının karşılaştırılması olarak Şekil 7’te gösterilmektedir. Şekil 7 incelendiğinde akümülayon tankındaki ekserji kayıpları bütün durumlar için oldukça düşük olduğu görülmüştür. Bu da akümülayon tankının iyi bir yalıtıma sahip olduğunu göstermektedir. Beklenildiği gibi en büyük ekserji kayıpları test odası tarafında ortalama 1,4 ile 1,82 kJ/kg olarak gerçekleşmiştir. Duvar tarafında ekserji yikımının yüksek olması deneylerin gerçekleştiği günün dış ortam hava sıcaklığının diğer günlere nazaran daha düşük olması ve bunun test odasından olan kayıpları artırılması olarak düşünülmektedir. Toprak hattı ve ısı pompası içindeki kompräsör ekserji kayıpları da ihmal edilecek kadar düşük çıkmıştır.

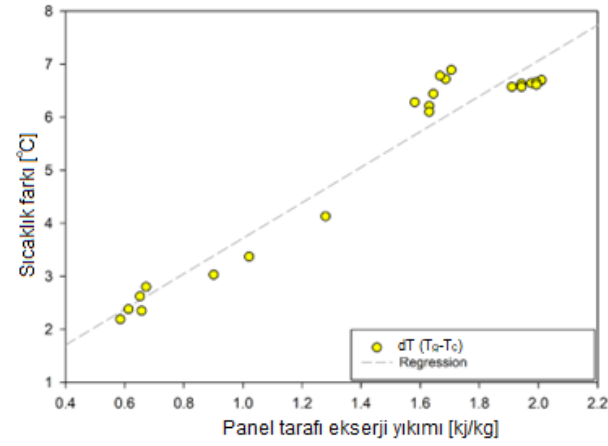
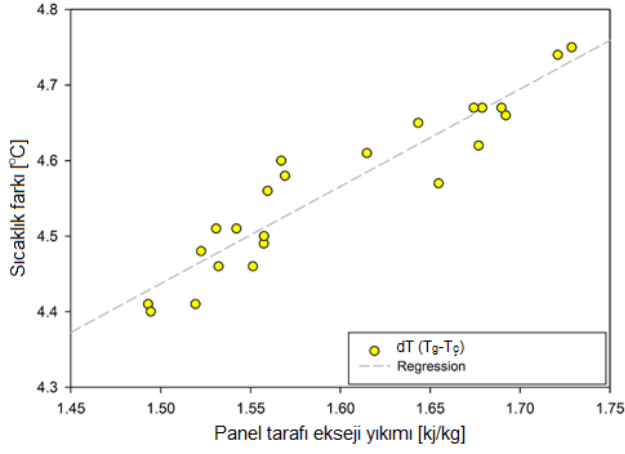




Şekil 6 Toprak hattı ekserji yıkımı regresyon analizi (a) duvar ısıtma, (b) tavan ısıtma ve (c) tüm panel ısıtma

Şekil 7 ve Şekil 8’de toprak ve panel tarafında gün boyunca sıcaklık farklarının regresyon analizleri duvar, tavan ve tüm paneller için gösterilmiştir. Şekil 7 toprak hattı için duvar ve tavan regresyon modeli belirleme katsayısı olan R^2 sırasıyla 0,92 ve 0,95 olarak hesaplanmış, tüm panel ısıtma durumunda 0,84 olarak bulunmuştur. Tüm panel ısıtma durumunda test odasına sağlanan su sıcaklık dalgalanmalarının yüksek olması buradaki hata oranını arttırdığı düşünülmektedir. Benzer olarak Şekil 8’de panel hattı belirleme katsayısı duvar ısıtma durumunda yine 0,92 olarak hesaplanırken tavan ısıtma durumunda 0,88 tüm panel ısıtma durumunda 0,94 olarak bulunmuştur.





Şekil 7 Panel hattı ekserji yıkımı regresyon analizi (a) duvar ısıtma, (b) tavan ısıtma ve (c) tüm panel ısıtma

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, radyant ısıtma ve soğutma (RIS) sistemlerinin enerji ve ekserji performansını değerlendirmek amacıyla Yıldız Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarını sunmaktadır. RIS sistemlerinin enerji verimliliği ve ısıl konfor açısından avantajları göz önüne alındığında, bu çalışmanın önemi açıktır. Deneylerimiz, 12-14 Aralık 2022 tarihleri arasında farklı panel konfigürasyonları (duvar ısıtma, tavan ısıtma, tüm panel ısıtma) üzerinde yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Enerji ve ekserji sonuçları, farklı panel konfigürasyonlarının performansını karşılaştırmak için kullanılmıştır. Duvar ısıtma durumunda ısı pompasından test odasına aktarılan ortalama 132 W/m^2 ısı akısı tespit edilmiştir. Tavan ve tüm panel ısıtma durumlarında bu oran sırasıyla 95 W/m^2 ve 110 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar, yüksek ısı akısının ekserji yıkımını artırabileceğini ve enerji tüketimini etkileyebileceğini göstermektedir.



- Ayrıca, toprak ve panel hattına giden ve dönen suyun sıcaklık farkları incelenmiştir. Bu farklar, farklı panel konfigürasyonlarında değişiklik göstermiştir. Duvar ve tavan ısıtma durumlarında ısı pompasının, ASHRAE 55 konfor standardına uygun sıcaklıklara ulaşmada yetersiz olduğu görülmüştür.
- Ekserji kayıpları, enerji tasarrufu ve sistem verimliliği açısından önemli bir faktördür. Bu çalışmada, akümülayon tankındaki ekserji kayıplarının düşük olduğu ve en büyük kayıpların test odasında gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, yalıtımın ve dış ortam hava sıcaklığının enerji verimliliğine etkisini ortaya çıkarmıştır.
- Son olarak, regresyon analizleri, sıcaklık farklarını incelemiş ve belirleme katsayıları hesaplanmıştır. Bu analizler, su sıcaklık dalgalanmalarının hata oranını artırabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmanın sonuçları, radyant ısıtma ve soğutma sistemlerinin enerji tasarrufu ve ısı konfor açısından önemli bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Ayrıca, farklı panel konfigürasyonlarının performansının dikkatlice değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Gelecekteki çalışmalarda, bu sistemlerin daha geniş ölçekte uygulanabilirliği ve enerji tasarrufu potansiyelini daha fazla incelenmelidir.

- [1] U. Nations, World population prospects 2019, Population Division. (2019).
- [2] TÜRKİYE NATIONAL ENERGY PLAN 2022, n.d. https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/Türkiye_National_Energy_Plan.pdf (accessed October 17, 2023).
- [3] M.S.S. Danish, T. Senju, A.M. Ibrahimi, M. Ahmadi, A.M. Howlader, A managed framework for energy-efficient building, Journal of Building Engineering. 21 (2019) 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.10.013>.
- [4] N. Kayaci, Energy and exergy analysis and thermo-economic optimization of the ground source heat pump integrated with radiant wall panel and fan-coil unit with floor heating or radiator, Renew Energy. 160 (2020) 333–349. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.150>.
- [5] N. Kayaci, H. Demir, Comparative performance analysis of building foundation Ground heat exchanger, Geothermics. 83 (2020) 101710. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2019.101710>.



- [6] A. Dogan, N. Kayaci, H. Demir, M. Kemal Sevindir, An experimental comparison of radiant wall and ceiling cooling system integrated with ground source heat pump and direct expansion fan coil system in a highly glazed office room, *Energy Build.* 273 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112412>.
- [7] N. Kayaci, H. Demir, B.B. Kanbur, Ş.O. Atayilmaz, O. Agra, R.C. Acet, Z. Gemicci, Experimental and numerical investigation of ground heat exchangers in the building foundation, *Energy Convers Manag.* 188 (2019) 162–176. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.03.032>.
- [8] T. Arghand, S. Javed, A. Trüschel, J.O. Dalenbäck, Control methods for a direct-ground cooling system: An experimental study on office cooling with ground-coupled ceiling cooling panels, *Energy Build.* 197 (2019) 47–56. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.049>.
- [9] I. Sarbu, C. Sebarchievici, General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings, *Energy Build.* 70 (2014) 441–454. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.068>.
- [10] U. Akbulut, Z. Utlu, O. Kincay, Exergy, exergoenvironmental and exergoeconomic evaluation of a heat pump-integrated wall heating system, *Energy.* 107 (2016) 502–522. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.050>.
- [11] B. Kilkis, Exergy metrication of radiant panel heating and cooling with heat pumps, in: *Energy Convers Manag.* 2012: pp. 218–224. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.01.043>.
- [12] K. Menberg, Y. Heo, W. Choi, R. Ooka, R. Choudhary, M. Shukuya, Exergy analysis of a hybrid ground-source heat pump system, *Appl Energy.* 204 (2017) 31–46. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.076>.
- [13] A. Hepbasli, O. Akdemir, Energy and exergy analysis of a ground source (geothermal) heat pump system, *Energy Convers Manag.* 45 (2004) 737–753. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(03\)00185-7](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00185-7).
- [14] M.R. Ally, J.D. Munk, V.D. Baxter, A.C. Gehl, Exergy analysis and operational efficiency of a horizontal ground-source heat pump system operated in a low-energy test house under simulated occupancy conditions, in: *International Journal of Refrigeration*, 2012: pp. 1092–1103. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2012.01.013>.
- [15] N. AhmetDoğan HakanDemir Mustafa KemalSevindir, Experimental investigation of thermal comfort performance of a radiant wall and ceiling panel system, *Journal.* 8 (2022) 551–561.
- [16] N. Kayaci, H. Demir, Long time performance analysis of ground source heat pump for space heating and cooling applications based on thermo-economic optimization criteria, *Energy Build.* 163 (2018) 121–139. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.12.034>.
- [17] T. Circle, 2013 ASHRAE Handbook—Fundamentals, 2013.



tmmob
makina mühendisleri odası

SÜREKLİ ISITMA ÖZELLİĞİ OLAN VRV SİSTEMİ İLE STANDART ISI POMPASI ÖZELLİKLİ VRV SİSTEMİNİN ENERJİ TÜKETİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Ferhat DAMARHAN¹, İlhan Tekin ÖZTÜRK²

¹Metkan Mühendislik ve İklimlendirme Sistemleri Dış Ticaret Anonim Şirketi Cumhuriyet Mahallesi İsmail Dede Caddesi No:12/A Kartal, İstanbul, f.damarhan@metkanmuhendislik.com.tr

²Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
41380 İzmit, Kocaeli, ilhan@kocaeli.edu.tr

ÖZET

Enerji verimliliği tüm sektörlerde sürdürülebilir bir dünya yaşamı ve iklim değişikliğinin önlenmesi için her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Yapılar enerji tüketimi alanında önemli bir paya sahiptir. Binalarda enerjinin etkin ve verimli kullanılması için birçok çalışmalar yapılmaktadır. Havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemleri enerji tüketimi binalardaki enerji tüketiminin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. İklimlendirme sistemlerinde pazar payı en yüksek olan değişken soğutucu akışkan debili olarak tanımlanan VRV, değişken soğutucu akışkan debisi kontrollü iklimlendirme sistemidir. Merkezi iklimlendirme VRV sistemlerinin hava soğutmalı serilerinde ısıtma modunda çalışan cihazda kış aylarında karşılaşılan en yaygın sorunlardan birisi dış üniteye meydana gelen buzlanma sorunudur. Dış üniteye meydana gelen buzlanma sırasında iç ünite kendini durdurmaya almakta ve buz çözme işlemi için sistem ters çalışmaya geçmektedir. Bu olaya defrost denir. Kışın buharlaştırıcının yüzeyinde oluşan buzlanma ve karlanma sorunu buharlaştırıcının kapasitesini ciddi oranda etkilemekte ve cihazın elektrik tüketimini arttırmaktadır. İklimlendirme sistemlerinde cihazın normal çalışma koşullarına geri dönmesi için farklı buz çözme yöntemleri mevcuttur. Bu çalışmada VRV sistemlerinde kullanılan buz çözme yöntemleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Sürekli ısıtma özelliğine sahip hava soğutmalı VRV sistemi ile standart hava soğutmalı VRV sisteminin defrost anında bilgisayarlı ölçüm cihazı ile kayıtları alınmıştır. Sistemin gaz sıcaklığı, sıvı sıcaklığı ve oda sıcaklıkları defrost anında birbirini takip eden süre içinde defrost sonuna kadar raporlanmıştır. Yapılan testler sonucunda sürekli ısıtma özellikli VRV dış ünitesinin defrost anındaki değerlerinin, standart çalışma özelliği olan VRV dış ünitesine göre bina içi sıcaklık dalgalanmasının olmadığı ve neredeyse sabit kaldığı görülmüştür. Bunun sonucu bina içi konforun tamamen korunduğu, her iki durum için elektrik tüketiminin sabit kaldığı, standart özellikli ısı pompasının defrost boyunca ısıtma kısmının kesintiye uğraması sonucu daha düşük ısıtma kapasitesine sahip olduğu ve konforsuz bir ısıtma sağladığı görülmüştür. Buna karşın sürekli ısıtma özellikli ısı pompasının konforu bozmadan tükettiği elektrik enerjisinin yaklaşık %15 ile pompalanan ısının sistemi ısıtmaya devam ettiği için ikinci sistemin bu oranda bir elektrik enerjisi tasarrufu



tmmob
makina mühendisleri odası

sağladığı söylenebilir. Bu tasarrufla sürekli ısıtma özellikli ısı pompası sistemine ilave edilen yatırımın kendisini yaklaşık 7,8 yılda geri ödeyeceği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: VRV, HVAC, defrost, binalarda enerji verimliliği

COMPARISON OF THE ENERGY CONSUMPTIONS OF THE CONTINUOUS HEATING FEATURE VRV SYSTEM AND THE STANDARD HEAT PUMP FEATURED VRV SYSTEM

ABSTRACT

Energy efficiency is becoming more and more important every day for a sustainable world life in all sectors and for the prevention of climate change. Buildings have an important share in the field of energy consumption. Many studies are being carried out for the effective and efficient use of energy in buildings. Ventilation and air conditioning (HVAC) systems energy consumption accounts for a large part of the energy consumption in buildings. VRV, defined as the variable refrigerant flow rate with the highest Sunday share in air conditioning systems, is a variable refrigerant flow controlled air conditioning system. One of the most common problems encountered in the winter months in the air-cooled series of central air conditioning VRV systems in the device operating in heating mode is the icing problem that occurs in the outdoor unit. When frost occurs on the outdoor unit, the indoor unit stops itself and the system goes into reverse operation for defrosting. This event is called defrost. The icing and snowing problem that occurs on the surface of the evaporator in winter seriously affects the capacity of the evaporator and increases the electricity consumption of the device. There are different defrosting methods in air conditioning systems to return the device to normal operating conditions. In this study, detailed information is given about defrosting methods used in VRV systems. Records were taken with a computerized measurement device at the time of defrost of the air-cooled VRV system with continuous heating feature and the standard air-cooled VRV system. The gas temperature, liquid temperature and room temperatures of the system are reported consecutively at the time of defrost until the end of defrost. As a result of the tests, it was observed that the values of the VRV outdoor unit with continuous heating feature at the time of defrost did not fluctuate inside the building and remained almost constant compared to the VRV outdoor unit with standard operating feature. As a result, it has been observed that indoor comfort is completely preserved, electricity consumption remains constant for both cases, and the standard heat pump has a lower heating capacity as a result of the interruption of the heating part during defrost and provides uncomfortable heating. On the other hand, it can be said that the second system provides electrical energy savings at this rate, as the heat pumped continues to heat the system with approximately 15% of the electrical energy consumed by the heat pump



with continuous heating feature, without compromising comfort. With this savings, it can be said that the investment added to the heat pump system with continuous heating will pay back in approximately 7.8 years.

Keywords: VRV, HVAC, defrost, energy efficiency in buildings

1. GİRİŞ

Tüm Dünya’da enerji tasarrufu hakkında insanların bilinçlenmesi, teknolojik gelişmelerin gidişatını önemli derecede etkilemektedir. Geçmişten günümüze kıyasla enerji tüketimi konusu daha çok gündeme gelmekte ve üzerinde detaylı çalışmalar yapılmaktadır.

Enerji krizlerinin insanlığa öğrettiği enerjinin verimli kullanılması gerektiğidir. Günümüzde özellikle büyük çaplı binalarda, eğitim alanlarında, iş merkezleri ve birçok sanayi kuruluşlarında en büyük öncelik enerji kullanımı üzerine olmuştur. Amaç üretilen enerjiden maksimum seviyede yararlanmak ve daha az enerji kullanmaktır. Enerji tasarrufu açısından iklimlendirme cihazları yüksek pazar payına sahiptir. Bu durumun nedeni nüfus artışı, daha iyi bir yaşam arzusu, maddi kazanç olarak ele alınabilir.

Günümüzde çok farklı ısıtma ve soğutma sistemi bulunmaktadır. İklimlendirme sistemlerinde enerji verimliliği, montaj esnasında sağladığı kolaylıklar, kullanım kolaylığı ve işletme maliyetlerindeki sağladığı enerji tasarrufu VRV sistemlerinin tercih edilmesinde en büyük etken olmuştur. Minimum işletme maliyetleri, maksimum esneklik, hızlı montaj, üstün verimlilik, mükemmel konfor VRV sistemlerini tercih etmede en büyük etkendir.

Dünyada önemli enerji tüketim kaynaklarından birisi de binalardır. Binalar, enerji verimliliği açısından ekonomik potansiyelin büyük bir kısmını temsil etmektedir.

Türkiye’de tüketilen enerjinin yaklaşık %35’i binalardan kaynaklıdır. Bu enerjinin %85’i ise ısıtma ve soğutmada kullanılmaktadır [6].

VRV sistemlerinin işletilmesinde en önemli problemlerden birisi buz çözme problemidir.

Wang ve arkadaşları 2017 yılında soğuk hava depolarında kullanılmak üzere yeni bir buz çözme cihazı tasarlamışlardır. Bu çalışmada elektrikli buz çözme ve ters çevrimli buz çözme yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Yapılan deney sonuçlarına göre tasarlanan cihazın elektrikli buz çözme yöntemine göre enerji tüketimini %20 oranında, ters çevrimli buz çözme yönteminde ise %27,2 oranında azalttığı görülmüştür. [1].

Liu ve arkadaşları 2017 yılında yapmış oldukları bir çalışmada güneş enerjisinden faydalanarak dış üniteye buz çözme çalışması yapmışlardır. Güneş destekli ısı pompasında bulunan iki adet su deposundan bir



tanesi gündüz güneş ısısını toplarken bir diğeri gece buz çözme işleminde kullanılmaktadır. Bu deney sonucunda yeni sistemin performans katsayısının (COP) ters çevrimli buz çözme yöntemi kullanan standart ısı pompasına göre %82 daha verimli olduğu sonucuna varmışlardır. [2].

Tan ve arkadaşları 2015 yılında yapmış oldukları çalışmada ısı pompasının buharlaştırıcısında oluşan buzlanma için aralıklı ultrasonik titreşim metodunu incelemişlerdir. Yapılan deneyde buz kalınlıkları MATLAB yazılımı ile ortalama hesaplanmıştır. Buz çözme sırasında harcanan enerjideki azalma, ısıtma kapasitesindeki artış ve performans katsayısındaki artış değerlendirilmiştir. Deneyler sonucunda 50 W güç ve 40 kHz titreşim uygulandığında çift sıra kanatlı borulu buharlaştırıcıda buz çözme alanının $0,165 m^2$ olduğu görülmüştür. Hava kaynaklı ısı pompasında ultrasonik titreşimli buz çözme yöntemi kullanıldığında, bu yöntemi kullanmayan sisteme göre enerji tüketiminin %3,14-5,46 düştüğü, ısıtma kapasitesinin %2,2-9,03 ve COP değerinin % 6,51-15,33 arttığı hesaplanmıştır. [3].

Choi ve arkadaşları 2011 yılında yapmış oldukları çalışmada, hava kaynaklı ısı pompasında buzlanmayı engellemek için ikili sıcak gaz baypas buz çözme yöntemini geliştirmişlerdir. Bu yöntemde kompresör tarafından gelen sıcak gaz iki baypas hattından geçirilmiştir. Baypas hattından bir tanesi dış mekandaki ısı değiştiricisine diğeri ise ısı değiştiricisinin çıkışına bağlanmıştır. Bu yöntemde geleneksel sıcak gaz buz çözme yöntemine kıyasla daha yüksek kompresör çıkış basıncı ölçülmüştür. Ayrıca buz çözme süresinin %36 oranında azaldığı görülmüştür. Geleneksel ters çevrimli buz çözme yöntemiyle karşılaştırıldığında, enerji verimliliği açısından %13 daha iyi olduğu görülmüştür [4].

2. VRV ve DEFROST

VRV; (Variable Refrigerant Volume kelimelerinin baş harflerinden oluşan) değişken debili soğutucu akışkan klima sistemi olarak Türkçe 'ye çevrilebilir. Piyasada marka çeşitliliğine göre VRF olarak da tanımlanabilir.

VRV klima sistemleri bir dış ünite veya dış ünite grubu ile gaz akış dağıtıcıları yardımıyla birden fazla iç ünitenin birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebildiği klima sistemleridir. Bu özellik sayesinde yeterli soğutucu akışkan doğru fazda ihtiyaç duyulan üniteye gönderilmektedir.

VRV sistemleri kendi içinde farklı özelliklere sahip modellerini bulundurmaktadır. Belirtilen özellikler temel olarak her markada aynı olup sunulan özellikler farklı metotlar ile karşımıza çıkmaktadır.

2.1 VRV DIŞ ÜNİTELERİ ISI ATMA YÖNTEMİNE GÖRE HAVA SOĞUTMALI veya SU SOĞUTMALI OLMAK ÜZERE İKİYE AYRILIR;

2.1.1 HAVA SOĞUTMALI DIŞ ÜNİTELER;

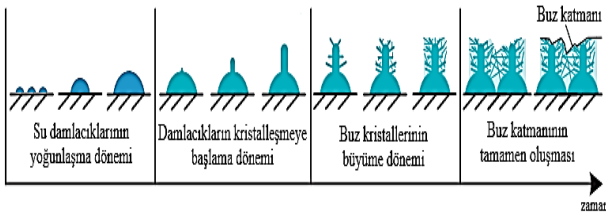
- Sürekli ısıtma işlevi olmayan ısı pompası (İki borulu standart VRV sistemleri)
- Sürekli ısıtma özellikli ısı pompası
- Isı geri kazanımlı ısı pompası (Üç borulu VRV sistemleri)

2.1.2 SU SOĞUTMALI DIŞ ÜNİTELER;

- Su soğutmalı, iki borulu standart sistemler.
- Su soğutmalı, üç borulu ısı geri kazanımlı sistemler.

2.2 DEFROST;

VRV sistemlerinde kış aylarında karşılaşılan en büyük sorunlardan birisi buzlanma sorunudur. Buharlaştırıcının yüzey sıcaklığı nemli havanın çığırma sıcaklığının altına düştüğünde veya suyun donma sıcaklığının altında olduğunda dış ünite serpantin üzerinden karlanma meydana gelir. Buzlanmanın başlangıcında buharlaştırıcının yüzey pürüzsüzlüğünü arttırması nedeni ile ısı transferinde artış görülür ancak zamanla buharlaştırıcının kanat araları tıkanıdığı için hava akışı ve ısı transferi azalır. Buzlanma ile birlikte verimi düşen sistemin elektrik tüketimi artar. Bu sorunun çözülebilmesi için farklı alternatif yollar araştırılmış ve çalışmalar yapılmıştır. Buz çözme (defrost) işlemi biriken buz ve karın bertaraf edilmesini sağlar. Buz çözdürme yöntemleri ile iklimlendirme sistemleri normal çalışma koşullarına dönerler ancak bu işlem ek enerji tüketimini hem de buz çözdürme işlemi sırasında mahaldeki konforu etkilemektedir. Şekil 1’de VRV sisteminin evaporatöründe buz oluşum evreleri verilmiştir.



Şekil 1 Buz –Kar- Oluşumu

Buz çözdürme işlemleri kendi içinde pasif buz çözdürme ve aktif buz çözdürme olarak sınıflandırılabilir.

2.2.1 PASİF BUZ ÇÖZDÜRME;

Buz oluşumunu önleyen yöntemler yüzey yapısını kullanarak buharlaştırıcının yüzeyinde buz oluşumunu engeller (buzlanma önleyici hidrofobik veya süperhidrofobik kaplama).

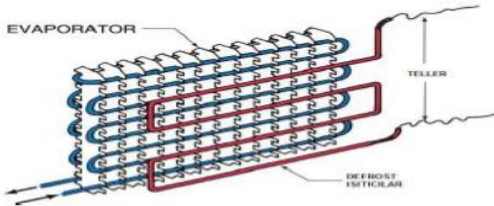
2.2.2 AKTİF BUZ ÇÖZDÜRME;

Enerji tüketerek buharlaştırıcı üzerinde buz oluşumunu engelleyen sistemler olarak tanımlanır.

İklimlendirme sistemlerinde genel olarak sıcak gaz ve elektrikli ısıtıcılar ile buz çözme işlemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlere karşılık birçok ARGE çalışmaları yapılmakta ve çözüm önerileri sunulmaktadır.

2.2.2.1 ELEKTRİKLİ ISITICILAR İLE DEFROST YÖNTEMİ;

Soğutma sistemlerinde en çok tercih edilen yöntemlerden bir tanesi elektrikli ısıtıcı ile buz çözme yöntemidir. Bu yöntemde kullanılan elektrikli ısıtıcılar yalıtımlı boru tipi elektrikli rezistans olup, serpantin yüzeyindeki lamellerin üzerine yerleştirilirler. Defrost işlemi el ile manuel veya otomatik defrost zaman saatleri ile gerçekleştirilir.



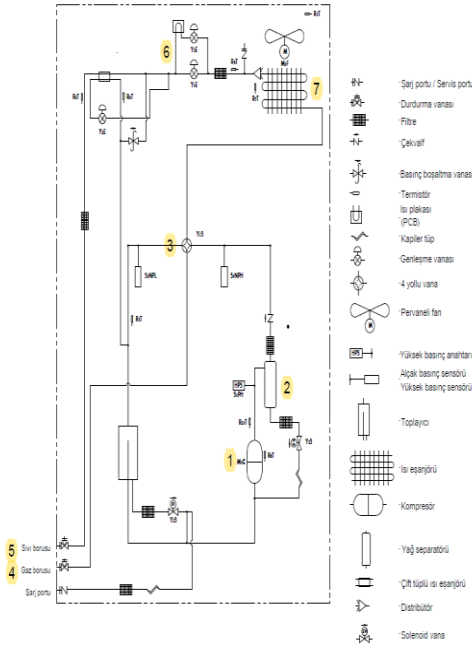
Şekil 2 Elektrikli Isıtıcı İle Buz Çözme

2.2.2.2 SICAK GAZ İLE DEFROST YÖNTEMİ;

Bu yöntemde kompresörden çıkan kızgın buhar halindeki soğutucu akışkan, yoğuşturucuya girmeden önce buharlaştırıcıya giderek buz çözme işlemini gerçekleştirir.

Kompresörde sıkıştırılan soğutucu akışkan 4 yollu vananın akışı ters yöne göndermesi ile kızgın buhar akışkan yoğuşturucu üzerindeki karlanmayı çözer. Ancak sistem buz çözme sırasında kış şartlarında mahale soğuk hava üfler ve ısı pompası üzerinde kayıplara yol açar. Şekil 3'de standart hava soğutmalı sistemin şemasında 1 numaralı kompresörden çıkan yüksek sıcaklıklı ve yüksek basınçlı gaz 2 numaralı yağ separatöründen geçerek 3 numaralı dört yollu vanaya gitmektedir. Isıtma modunda çalışan sistemde dört yollu vanadan çıkan gaz 4 numaralı hat ile iç ünite kondensere gitmektedir ve burada üzerindeki yükü ortama attıktan sonra doymuş sıvı olarak kondenserden çıkmakta, ardından 5 numaralı hat ile sıvı borusundan devam ederek 6 numaralı elektronik genişleme valfinden geçerek alçak basınçta sıvı+likit fazında 7 numaralı dış ünite evaporatöründen geçerek sıvı+gaz fazında kompresör tarafından emilmektedir. Defrost durumu sistemde

devreye girdiğinde dış ünite evaporatörü önünde bulunan R7T sensörü $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'yi algıladığında serpantin üzerinde buzlanma oluşmasından kaynaklı 1 numaralı kompresörden çıkan gaz 3 numaralı dört yollu vana ile yönünü değiştirerek dış ünite evaporatörüne giderek sistem soğutma çevrimi gibi çalışmaktadır. Bu durumda dış ünite kondenser, iç ünite evaporatör olarak görev yaparak ters çevrim ile buzu çözene kadar devam etmektedir.



Şekil 3 Standart Hava Soğutmalı Cihaz Çevrimi

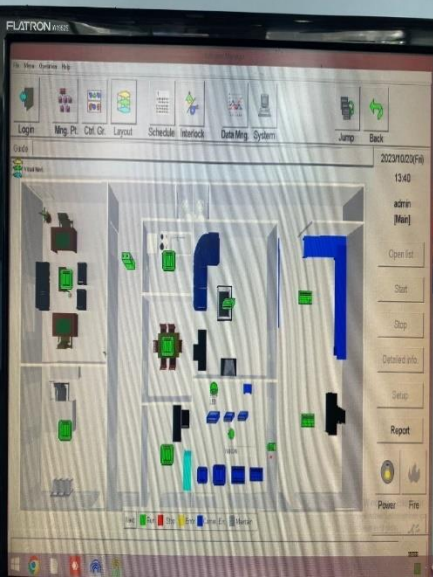
2.2.3 ALTERNATİF BUZ ÇÖZME YÖNTEMİ;

Yapılan bir ARGE çalışmasında alternatif olarak sunulan sürekli ısıtım özelliği hava soğutmalı VRV dış ünitesi üretilerek defrostun önlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada ısı pompası tekli ünite sistemleri için benzersiz bir ısı depolama elemanı kullanılmaktadır. Isı depolama elemanı faz değiştirebilen patentli özel bir malzeme ile doludur. Bu malzeme defrost işlevi sırasında iç ünitelerde kesintisiz ısıtma sağlar. Dış ünite eşanjörü defrost işlevi ısı depolama elemanında toplanan enerjiyle

sağlanır. Böylece iç ortamda konforlu bir sıcaklık sağlanabilir. Isı depolama elemanı ile sağlanan devamlı iç ortam konforu mevcuttur. Şekil 4'de sürekli ısıtım özelliği hava soğutmalı sistemin şemasında 1 numaralı kompresörden çıkan yüksek sıcaklıklı ve yüksek basınçlı gaz 2 numaralı yağ separatorundan geçerek 3 ve 4 numaralı dört yollu vanalara gitmektedir. Isıtma modunda çalışan sistemde 3 numaralı dört yollu vanadan çıkan gaz 7 numaralı hat ile iç ünite kondensere gitmektedir ve burada üzerindeki yükü ortama attıktan sonra doymuş sıvı olarak kondenserden çıkmakta, ardından 8 numaralı hat ile sıvı borusundan devam ederek 9 numaralı elektronik genleşme valfinden geçerek alçak basınçta sıvı+likit fazında 6 numaralı dış ünite evaporatöründen geçerek sıvı+gaz fazında kompresör tarafından emilmektedir. 4 numaralı dört yollu vanaya



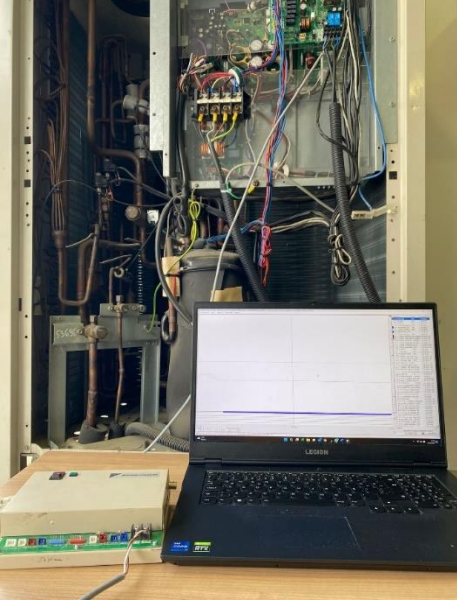
tmmob
makina mühendisleri odası



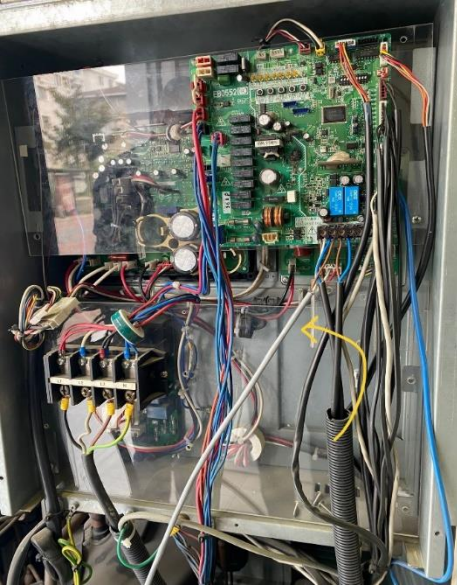
Şekil 7 Kurulu Deney Düzeneği 1



Şekil 8 Kurulu Deney Düzeneği 2



Şekil 9 Ölçüm Kayıt Düzeneği



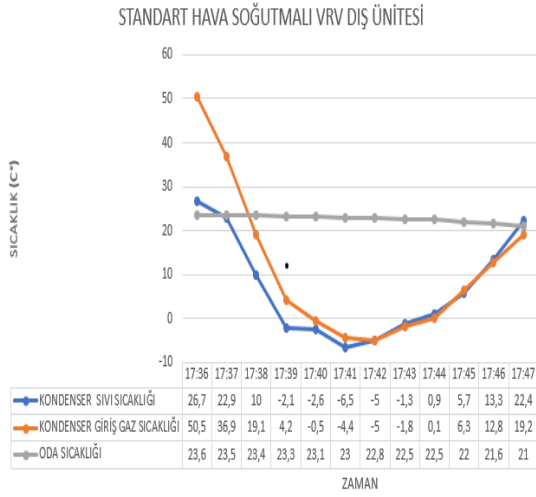
Şekil 10 Bilgisayarlı İzleme Sistemi Dış Ünite Bağlantısı

4. İKİ DEFROST SİSTEMLİ ISI POMPALARININ ÖLÇÜM SONUÇLARININ KIYASLANMASI

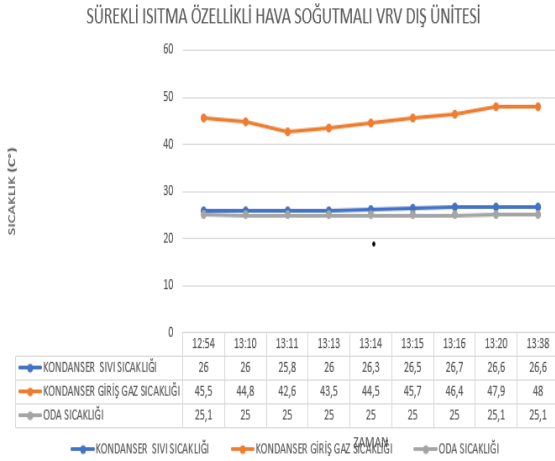
Enerji tüketimlerinin yorumlanması için iki sistemin dış ünitelerine bilgisayarlı ölçüm cihazları bağlanmış ve izleme sisteminden veriler alınmıştır. Bilgisayar kayıtları 2023 9. ayda kayıt altına alınmıştır. Ancak bu tarihte



ısıtma modunda cihaz hava şartlarından kaynaklı defrost yapamayacağından dış ünite etrafı kapatılarak nemlendirici cihaz yardımıyla buzlanma oluşturulmuştur. -5 °C ile -10 °C'leri arasında buzlanma görülmüştür.



Şekil 11 Standart Hava Soğutmalı Cihazın Sıcaklık Değerleri



Şekil 12 Sürekli Isıtma Özellikli Cihazın Sıcaklık Değerleri

İki cihazın çektiği yükler incelendiğinde aynı kapasitedeki iki cihazın çektiği nominal yüklerin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Ancak Şekil 11 ve 12'den görüleceği gibi, sürekli ısıtma özellikli cihazın defrost durumuna girdiği durumda (12:54)'den itibaren kondenser gaz giriş sıcaklığının 45,5 °C olarak başladığını ve defrost sürecinde değerlerin 1-2°C değiştiği gözlemlenmiştir. Standart hava soğutmalı cihazın kondenser gaz giriş sıcaklıkları incelendiğinde ise defrost durumuna girdiği durumda (17:36)'da gaz sıcaklığının 50,5 °C olarak başladığını ve defrost sürecinde değerlerin -5°C'lere kadar düştüğünü gözlemlemekteyiz.



Şekil 11 ve 12'den görüleceği gibi, sürekli ısıtılmalı cihazın defrost durumuna girdiği durumda (12:54)'den itibaren kondenser sıvı çıkış sıcaklığının 26 °C olarak başladığını ve defrost sürecinde değerlerin 0,5-1°C'nin değiştiği gözlemlenmiştir. Standart hava soğutmalı cihazın sıvı çıkış sıcaklıkları incelendiğinde ise defrost durumuna girdiği durumda (17:36)'da sıvı giriş sıcaklığının 50,5 °C olarak başladığını ve defrost sürecinde değerlerin -5°C'lere kadar düştüğünü gözlemlemekteyiz.

Şekil 11 ve 12'den görüleceği gibi sürekli ısıtılmalı cihazın defrost durumuna girdiği durumda (12:54)'den itibaren oda sıcaklığının 25,1 °C olarak başladığını ve defrost sürecinde değerlerin 0,5-1°C değiştiği gözlemlenmiştir. Standart hava soğutmalı cihazın oda sıcaklıkları incelendiğinde ise defrost durumuna girdiği durumda (17:36)'da gaz sıcaklığının 23,6°C olarak başladığını ve defrost sürecinde değerlerin 1-2°C düştüğünü gözlemlemekteyiz.

Bu durumlar değerlendirildiğinde sürekli ısıtılmalı cihazın çalışırken aktardığı ısı enerjisinin daha fazla olduğu kanısına varılmıştır. Termostat üzerinden ayarlı olan °C'ye ulaşan mahal sıcaklığı inverter teknolojisinden kaynaklı daha az güç çekeceğinden defrost anında mahalin sıcaklığının düşmesi ve defrost bitiminde mahallin istenilen sıcaklığa ulaşması için daha fazla yük çekmesi enerji tüketim giderini arttırmaktadır. Sürekli ısıtılmalı sistemlerde defrost sırasında mahallin sıcaklığı değişmemesinden dolayı defrost bitiminde de dış ünite aynı seviyede çalışmaya devam etmektedir. Sürekli ısıtılmalı cihaz bünyesinde ısı depoladığı için mahalde konfordan ödün vermeden talep edilen sıcaklık sürekli devam etmekte olup, inverter teknolojiden kaynaklı kompresör daha az akım çekmektedir. Bu durum sürekli ısıtılmalı cihazın binalarda ve birçok kullanım alanında daha fazla enerji tasarruflu olduğunu ve sürekli konfor sunduğunu göstermektedir.

5. ENERJİ TÜKETİMLERİNİN VE İLK YATIRIM MALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

5.1 ENERJİ TÜKETİM MALİYETLERİ

Şekil 11 ve Şekil 12'de cihaz defrost sürelerine bakıldığında standart hava soğutmalı cihazın 11 dakika, sürekli ısıtılmalı cihazın 16 dakika boyunca defrost sürelerinin devam ettiği gözlemlenmiştir. Tablo 1'de cihazların çektiği güçlere bakıldığında cihazın saatte 4,8304 KW güç çektiği gözlemlenmiştir. Defrost süreleri bittiğinde standart hava soğutmalı cihazın oda sıcaklığı 23,6 °C 'den 21 °C 'ye düştüğü ve defrost sonunda oda



sıcaklığının tekrar 23,6 °C'ye gelme süresinin 11 dakika olduğu görülmüştür. Sürekli ısıtmalı cihazda ise oda sıcaklığı değişmemiştir.

Tablo 1 Cihaz Çekilen Minimum Yükler

DIŞ ÜNİTE	Minimum Ssc value (kilo Volt Amper)	Güç Faktörü	Minimum Ssc value (Kw)
STANDART HAVA SOĞUTMALI SİSTEM	6.038	0,8	4,8304
SÜREKLİ ISITMALI HAVA SOĞUTMALI SİSTEM	6.038	0,8	4,8304

Yapılan testler sonucunda sürekli ısıtma özellikli VRV dış ünitesinin defrost anındaki değerlerinin, standart çalışma özelliği olan VRV dış ünitesine göre bina içi sıcaklık dalgalanmasının olmadığı ve nerdeyse sabit kaldığı, bunun sonucu bina içi konforun tamamen korunduğu, her iki durum için elektrik tüketiminin sabit kaldığı, standart özellikli ısı pompasının defrost boyunca bir saate yaklaşık 10 dakika ısıtma kısmının kesintiye uğraması sonucu daha düşük ısıtma kapasitesine sahip olduğu ve aynı konfor için sürekli ısıtma özellikli ısı pompasını tükettiği elektrik enerjisinin yaklaşık %15 ile pompalanan ısının sistemi ısıtmaya devam ettiği için ikinci sistemin bu oranda bir elektrik enerjisi tasarruf ettiği söylenebilir.

Tesisin ısıtma sezonu dört ay ve günde 12 saat çalıştığı ve elektriğin birim maliyetinin mesken için 2.6 TL/KWh, işyerleri için 4.4516 TL/KWh olduğu düşünülürse, ısı pompasının mesken veya ticarethanede kullanılmasına göre elektrik enerjisi tasarrufu,

$$T = W_{\text{kom}} \cdot 0,15 \cdot N \cdot n \cdot f$$

T: Tasarrufun yıllık tutarı (TL/yıl)

W_{kom} : Isı pompasının çektiği yıllık ortalama elektrik gücü (KW)

N: Isı pompasının yılda kullanılan gün sayısı (Gün/yıl)

n: Isı pompasının günde çalışma süresi (h/gün)

f: Elektriğin birim maliyeti ifadesiyle hesaplanabilir.

Meskenler için yıllık tasarruf miktarı



tmmob
makina mühendisleri odası

$$T = 4,8304 \times 0,15 \times 120. 12. 2,6 = 2712,75 \text{ TL/yıl}$$

İşyerleri için yıllık tasarruf miktarı

$$T = 4,8304 \times 0,15 \times 120. 12. 4,4516 = 4644,65 \text{ TL/yıl}$$

5.2 İLK YATIRIM MALİYETİ;

Standart çalışma özelliği olan hava soğutmalı ısı pompası VRV dış ünitesi ile sürekli ısıtma özelliği bulunan hava soğutmalı VRV sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri 9 iç üniteli bir sistem için incelenmiş ve yatırım maliyetleri Tablo 2 ve Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 2 Standart Hava Soğutmalı VRV Cihazları ve Fiyatlar

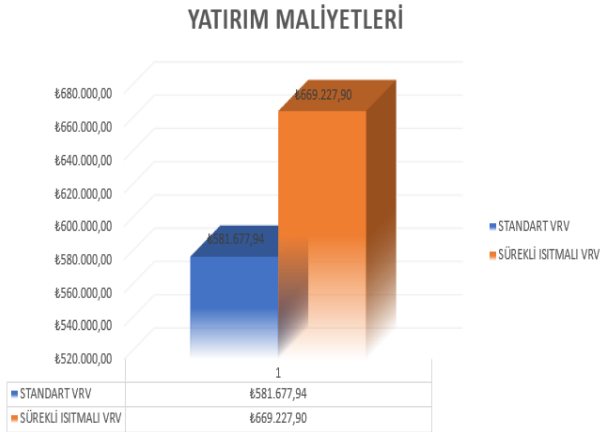
Cihaz Kodu	Açıklama	Adet	Birimi	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)
OU-01	DİŞ ÜNİTE	1,00	ADET	167.450,04	167.450,04
IND-01	DUVAR TİPİ İÇ ÜNİTE 7.1 KW	1,00	ADET	24.249,57	24.249,57
IND-02	60X60 KASET TİPİ İÇ ÜNİTE 2.2 KW	1,00	ADET	17.563,32	17.563,32
IND-03	60X60 KASET TİPİ İÇ ÜNİTE 3.6 KW	1,00	ADET	19.282,15	19.282,15
IND-04	60X60 KASET TİPİ İÇ ÜNİTE 4.5 KW	1,00	ADET	20.188,45	20.188,45
IND-05	90X90 KASET TİPİ İÇ ÜNİTE 3.6 KW	1,00	ADET	23.002,64	23.002,64
IND-06	90X90 KASET TİPİ İÇ ÜNİTE 5.6 KW	1,00	ADET	24.840,23	24.840,23
IND-07	KANAL TİPİ İÇ ÜNİTE 3.6 KW	1,00	ADET	18.343,05	18.343,05
IND-08	TEK YÖNE ÜFLEMELİ KASET TİPİ İÇ ÜNİTE 3.6 KW	2,00	ADET	41.533,20	83.066,40
BRC1H52S	KABLOLU KUMANDA	9,00	ADET	2.767,99	24.911,91
-	BAĞLANTI ELEMANI 1	7,00	ADET	1.071,48	7.500,36
-	BAĞLANTI ELEMANI 2	1,00	ADET	1.279,82	1.279,82
	Bakır Boru Tesisatı	1,00	ADET	150.000,00	150.000,00
	TOPLAM TUTAR				581.677,94



Tablo 3 Sürekli Isıtmalı Hava Soğutmalı VRV Cihazları ve Fiyatlar

Cihaz Kodu	Açıklama	Adet	Birimi	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)
OU-01	DİŞ ÜNİTE	1,00	ADET	255.000,00	255.000,00
IND-01	DUVAR TİPİ İÇ ÜNİTE 7.1 KW	1,00	ADET	24.249,57	24.249,57
IND-02	60X60 KASET TİPİ İÇ ÜNİTE 2.2 KW	1,00	ADET	17.563,32	17.563,32
IND-03	60X60 KASET TİPİ İÇ ÜNİTE 3.6 KW	1,00	ADET	19.282,15	19.282,15
IND-04	60X60 KASET TİPİ İÇ ÜNİTE 4.5 KW	1,00	ADET	20.188,45	20.188,45
IND-05	90X90 KASET TİPİ İÇ ÜNİTE 3.6 KW	1,00	ADET	23.002,64	23.002,64
IND-06	90X90 KASET TİPİ İÇ ÜNİTE 5.6 KW	1,00	ADET	24.840,23	24.840,23
IND-07	KANAL TİPİ İÇ ÜNİTE 3.6 KW	1,00	ADET	18.343,05	18.343,05
IND-08	TEK YÖNE ÜFLEMELİ KASET TİPİ İÇ ÜNİTE 3.6 KW	2,00	ADET	41.533,20	83.066,40
BRC1HS2S	KABLOLU KUMANDA	9,00	ADET	2.767,99	24.911,91
-	BAĞLANTI ELEMANI 1	7,00	ADET	1.071,48	7.500,36
-	BAĞLANTI ELEMANI 2	1,00	ADET	1.279,82	1.279,82
-	Bakır Boru Tesisatı	1,00	ADET	150.000,00	150.000,00
TOPLAM TUTAR					669.227,90

Yatırım maliyetleri sonrası VRV sistemi oluşan tablolar güncel kur oranlarına göre değerlendirilmelidir. Oluşturulan maliyetler sonrası ilk yatırım maliyetleri aşağıda yer alan şekil 13'te gösterilmiştir. İlk yatırım maliyetleri incelendiğinde standart hava soğutmalı VRV sisteminin sürekli ısıtmalı VRV sistemine göre %13,1 daha uygun olduğu görülmüştür.



Şekil 13 Yatırım Maliyetleri

Ancak sürekli ısıtma özellikli VRV dış ünitesinde kış aylarında ısıtma modunda çalışan sistemin mahalın oda sıcaklığını düşürmeyip, cihaz defrost moduna girdiğinde ısıtma modunu devam ettirdiği ve kondenser girişi



gaz sıcaklığı ile kondenser çıkış sıvı sıcaklığında düşme olmamasından kaynaklı mahaldeki konfor sıcaklığını bozmayıp son kullanıcıya üstün hizmet sunması büyük avantajdır.

5.3 EKONOMİK DEĞERLENDİRME

Yapılan testler sonucunda sürekli ısıtma özellikli VRV dış ünitesinin defrost anındaki değerlerinin, standart çalışma özelliği olan VRV dış ünitesine göre bina içi sıcaklık dalgalanmasının olmadığı ve nerdeyse sabit kaldığı bunun sonucu bina içi konforun tamamen korunduğu, her iki durum için elektrik tüketiminin sabit kaldığı, standart özellikli ısı pompasının defrost boyunca bir saate yaklaşık 10 dakika ısıtma kısmının kesintiye uğraması sonucu daha düşük ısıtma kapasitesine sahip olduğu ve aynı konfor için sürekli ısıtma özellikli ısı pompasını tükettiği elektrik enerjisinin yaklaşık %15 ile pompalanan ısının sistemi ısıtmaya devam ettiği için ikinci sistemin bu oranda bir elektrik enerjisi tasarruf ettiği söylenebilir. Isı pompasının yıl boyunca ortalama ısıtma tesir katsayısı (ITK = İç ünite kapasiteleri toplamı/yıllık ortalama çekilen güç) yaklaşık 4 alınırsa, iç ünite toplam kapasitesi yaklaşık 37 kW ve bu durumda yıllık ısı pompası elektriksel güç ortalama ($W=37/ITK= 37/4= 9,25$ kW) elde edilir.

Tesisin ısıtma sezonu beş ay ve günde 12 saat çalıştığı ve elektriğin birim maliyetinin işyerleri için 4.4516 TL/KWh olduğu düşünülürse, ısı pompasının ticarethanede kullanılmasına göre yıllık ortalama elektrik enerjisi tasarrufu bedeli,

$$T = W \cdot 0,15 \cdot N \cdot n \cdot f$$

İfadesiyle hesaplanabilir.

T: Tasarrufun yıllık tutarı (TL/yıl)

W: Isı pompasının yıllık ortalama çalışma gücü (KW)

N: Isı pompasının yılda kullanılan gün sayısı (Gün/yıl)

n: Isı pompasının günde çalışma süresi (h/gün)

f: Elektriğin birim maliyeti

Geri ödeme süreside aşağıdaki denklem yardımıyla elde edilir.



tmmob
makina mühendisleri odası

GÖS= İY/T

Bu denklemdeki İY ilave yatırımın parasal karşılığını ifade etmektedir (TL). Söz konusu ısı pompaları arasındaki ilave yatırım (669.228-581.680 = 87.547 TL)

- İşyerleri için yıllık tasarruf miktarı ve ilave yatırımın geri ödeme süresi (GÖS)

$$T = 9,25 \times 0,15 \times 150 \times 12 \times 4,4516 = 11.118 \text{ TL/yıl}$$

$$GÖS = 87.547 / 11.118 = 7,9 \text{ yıl}$$

Bu tasarrufla sürekli ısıtma özellikli sisteme ilave edilen yatırımın kendisini yaklaşık 7,9 yıl sürede geri ödeyeceği söylenebilir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada VRV sistemlerinde kullanılan buz çözdürme yöntemleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Sürekli ısıtma özelliğine sahip hava soğutmalı VRV sistemi ile standart hava soğutmalı VRV sisteminin defrost anında bilgisayarlı ölçüm cihazı ile kayıtları alınmıştır. Sistemin kondenser gaz giriş sıcaklığı, kondenser sıvı çıkış sıcaklığı ve oda sıcaklıkları defrost anında birbirini takip eden süre içinde defrost sonuna kadar raporlanmıştır. İki cihazdan alınan veriler değerlendirildiğinde aynı kapasitedeki iki cihazın çektiği yüklerin aynı olduğu gözlemlenmiştir.

Sistemlerin değerleri incelendiğinde standart hava soğutma özellikli VRV sisteminde kondensere giriş gaz sıcaklığının defrost anında maksimum değer olan 50,5 °C ^den minimum -5 °C'ye düştüğü, sürekli ısıtmalı özellikli VRV sisteminde ise kondensere giriş gaz sıcaklığının defrost anında maksimum değer olan 48 °C ^den minimum 42.6 °C'ye düştüğü, standart hava soğutmalı VRV sisteminde kondensere giriş sıvı sıcaklığının defrost anında maksimum değer olan 26,7 °C ^den minimum -5 °C'ye düştüğü, sürekli ısıtmalı özellikli VRV sisteminde ise kondensere giriş sıvı sıcaklığının defrost anında maksimum değer olan 26 °C ^den minimum 25.8 °C'ye düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca defrost anında iki sistemde oda sıcaklıkları incelendiğinde standart hava soğutmalı cihazda oda sıcaklığının 1.6 °C düştüğü, sürekli ısıtma özellikli cihazda ise 0.2 °C düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum uzayan defrost sürelerinde farkı daha fazla açacaktır. Defrost sonrası mahalde bulunan termostatın istenilen °C'ye ulaşması için standart hava soğutmalı cihazın daha fazla yük çekip mahali istenilen dereceye ulaştıracağı, sürekli ısıtmalı cihazda ise mahal sıcaklığında neredeyse değişim olmamasından kaynaklı inverter teknolojisinden dolayı cihazın sabit çalışmaya devam etmesinden ve



tmmob
makina mühendisleri odası

kompresöre ekstra yük verilememesinden enerji tasarrufu açısından daha verimli olduğu ve daha fazla ısı yükü taşıdığı gözlemlenmiştir.

Yapılan değerlendirme sonucu sürekli ısıtma özellikli cihazın kullanılmasının mahal içi konfor sıcaklıklarını sürekli sabit tuttuğu ve konforu bozmadığı ve bu konforun korunması için ilave enerji tüketmediği için sürekli ısıtma cihazının aynı konforu sağlaması için ilave enerji kullanması gerektiği ve bu aradaki kullanılan fark elektrik enerjisinin tasarruf edilen enerji olarak değerlendirildiğinde ve yapılan ekonomik çalışma sonunda sürekli ısıtma ısı pompasının klasik ısıtma ısı pompasına göre ilave yatırım maliyetini yaklaşık 7.9 yılda ödeyebileceği elde edilmiştir. Sonuç olarak sürekli ısıtma ısı pompasının iç ortam sıcaklık konforunu bozmadan aynı elektrik tüketerek çalışabildiği için iç mekânların ısıtılmasında tercih edilmesinin daha uygun olacağını söyleyebiliriz.



KAYNAKLAR

- 1- Wang, D., Jiang, J., Tao, L., Kou, Z., and Yao, L., “Experimental investigation on a novel cold storage defrosting device based on electric heater and reverse cycle”, *Applied Thermal Engineering*, 127: 1267–1273 (2017).
- 2- Liu, T., Li, Z., and He, G., “Experiments of a Heat Pump Water Heating System Using Stored Solar Energy to Defrost”, *Energy Procedia*, 105: 1130–1135 (2017).
- 3- Tan, H., Xu, G., Tao, T., Sun, X., and Yao, W., “Experimental investigation on the defrosting performance of a finned-tube evaporator using intermittent ultrasonic vibration”, *Applied Energy*, 158: 220–232 (2015).
- 4- Choi, H.-J., Kim, B.-S., Kang, D., and Kim, K. C., “Defrosting method adopting dual hot gas bypass for an air-to-air heat pump”, *Applied Energy*, 88 (12): 4544–4555 (2011).
- 5- Amer, M. and Wang, C.-C., “Review of defrosting methods”, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 73: 53–74 (2017)
- 6- Öztürk, M., “Merkezi ısıtma sistemlerinin ve ısı ölçüm ekipmanlarının verimlilik potansiyelleri”, (2018).
- 7- Amer, M. and Wang, C.-C., “Review of defrosting methods”, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 73: 53–74 (2017).
- 8- Liu, T., Li, Z., and He, G., “Experiments of a Heat Pump Water Heating System Using Stored Solar Energy to Defrost”, *Energy Procedia*, 105: 1130–1135 (2017).
- 9- Özyurt, G., ve Karabalık, K., (2009) Enerji Verimliliği, Binalarda Enerji Performansı ve Türkiye’deki Durum, TMH457, (5), 32-34
- 10- Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu, 2010.
- 11- İsa, K., ve Onat, A., “İklimlendirme Ve Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği”, 2. Ed., *Doğa Yayıncılık*, İstanbul, 452 (2012).
- 12- Daikin VRV 2022 ürün kataloğu, extension://efaidnbmnnnibpcjpcglclefindmkaj/https://st-daikin.mncdn.com/Content/media/img_shared/PDF/VRV-KATALOG-2022-FINAL.pdf
- 13- Chen Chao, Yang Jun, and Wang Xiuli. “New method of heat compensation for defrosting of air source heat pump system in winter.” *Journal of Refrigeration*, 27 (4) (2006): 37-40. (in Chinese)
- 14- Jang, j.2013, ‘Continuous heating of an air-source heat pump during defrosting and improvement of energy efficiency’ *Applied Energy*, 110:9-16



SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Arş. Gör. Servet Giray HACİPAŞAOĞLU*, Prof. Dr. İlhan Tekin ÖZTÜRK*

*Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
41001 İzmit, Kocaeli, girayservet@gmail.com, ilhan@kocaeli.edu.tr

Özet: Küresel ısınma etkilerinin artışı ile birlikte artan ortalama dış sıcaklıklardan dolayı soğutma sistemlerinin kondenser sıcaklıkları her geçen yıl daha da artmak zorunda kalmaktadır. (Örneğin, şu an 45°C iken gelecek yıllarda en az 50°C olacaktır.) Bunun sonucu soğutma sistemlerinin elektrik enerjisi tüketimi daha da artacaktır. Bu yüzden soğutma sistemlerinde bu durumları da göz önünde bulundurarak daha performanslı soğutma sistemleri tasarlanmak ve soğutucu akışkanların kullanılmak zorundadır. Bu çalışmada bu kapsamda soğutma sistemlerindeki gelişmeler ve soğutucu akışkanların durumları değerlendirilecek ve soğutma çevrimlerinde performans artışı sağlamak için uygulanabilecek yenilikler hakkında detaylı bilgi verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Soğutma çevrimi, Ultra düşük sıcaklık, Performans katsayısı

Abstract: With the escalation of the impacts of global warming, the rising average ambient temperatures necessitate a progressive increase in condenser temperatures within refrigeration systems each passing year. (For instance, while currently at 45°C, it is projected to reach at least 50°C in the upcoming years.) Consequently, the electricity consumption of refrigeration systems will experience further augmentation. Hence, considering these factors, it becomes imperative more efficient refrigeration systems and employ refrigerants that are mindful of these circumstances. This study will comprehensively examine advancements in refrigeration systems and the conditions of refrigerants within the scope outlined. Additionally, detailed information will be provided regarding innovations that can be implemented to enhance performance in refrigeration cycles.

Keywords: Refrigeration cycle, Ultra-low temperature, Coefficient of performance

1. GİRİŞ

Soğutma çevrimlerinin performansının artırılması konusunda literatürde birçok çalışma mevcuttur. Yeni soğutma çevrimlerinin modellenmesinden farklı çevreci soğutucu akışkanların kullanılmasına kadar birçok kapsamda çalışmalar yapılmaktadır. Evaporatör sıcaklığının 5°C, -30° ve -80°C olduğu durumlar için yapılan çalışmalar incelendiğinde soğutma çevriminde ejektör kullanılmasının ve soğutucu akışkana nanopartikül ilavesinin çevrimin performans katsayısını (COP) artırdığı belirlenmiştir. Soğutma sisteminin performansı, soğutucu akışkanın termodinamik özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Soğutucu akışkanın termodinamik özelliklerinin iyileştirilmesi, sistem performansını artırabilir. Ayrıca, buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimlerinin performansı, ejektör uygulaması, uygun soğutucu seçimi, işletme koşullarının optimizasyonu, atık enerji geri kazanımı ve çevrimde yapılabilecek farklı konfigürasyonlarla iyileştirilebilir (Carroll ve diğ., 2020; Li ve diğ., 2021; Liu ve diğ., 2023).

2. SOĞUTMA SİSTEMİ İÇİN UYGUN ÇEVİRİM BELİRLENMESİ

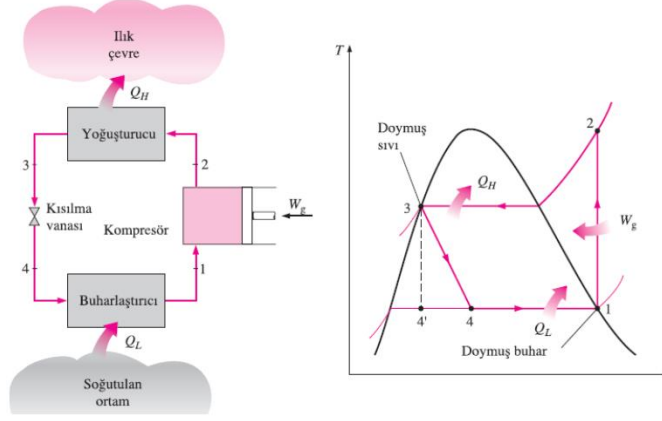
Çalışılmak istenen soğutma sıcaklığı belirlendikten sonra buna uygun çevrim belirlenmesi noktasında performansı en yüksek çevrimin tespiti önemlidir. Soğutma sistemleri için örnek evaporatör sıcaklıkları verilecek olursa; klima sistemleri ve meşrubat dolapları (-5°C), iki farklı sıcaklığa soğutma yapılması gereken ev tipi buzdolapları (-5°C, -30°C), derin soğutma ihtiyacı olan kaskad sistemler (-80°C) veya doğal gaz sıvılaştırılmasında kullanılan sistemlerde (-170°C)'dir.

2.1. TEK KADEMELİ SOĞUTMA ÇEVİRİMİ

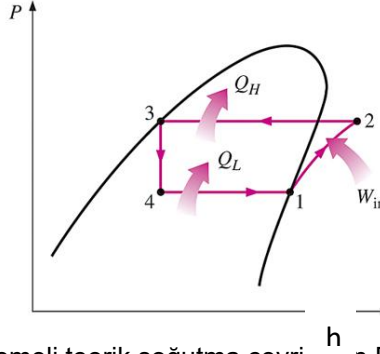
Klima sistemleri iç mekanlardaki havayı soğutmak ve nemini almak için tasarlanmıştır. Bunlar, hava şartlandırma uygulamaları için en yaygın soğutma çevrimi olan buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimini kullanır. Çevrim, dört ana bileşenden oluşur: kompresör, kondenser, genleşme valfi ve buharlaştırıcı. İşlem, soğutucu akışkanın basıncını ve sıcaklığını yükselten kompresörle başlar. Yüksek basınçlı soğutucu akışkan daha sonra kondensere girer, burada çevre ortama ısı bırakır ve yüksek basınçlı bir sıvıya (yoğuşarak) dönüşür. Sıvı haldeki soğutucu akışkan genleşme valfinden geçer, bu da basıncını ve sıcaklığını düşürür. Sonuç olarak, çevredeki havadan ısıyı emerek düşük basınçlı bir akışkan halinde buharlaşır. Soğutulmuş hava daha sonra tekrar odaya dağıtılırken, soğutucu akışkan tekrar çevrimi başlatmak için kompresöre döner (Yamankaradeniz ve diğ., 2017).

Ev tipi buzdolaplarında soğutma çevrimi, içecek buzdolaplarıyla ve klima sistemleri ile benzer şekilde çalışır. Soğutucu akışkan evaporatörde buharlaşarak, gıda maddeleri ve diğer içeriklerden ısıyı absorbe ederek onların soğumasını

sağlar. Daha sonra Kompresör, soğutucu akışkanın basınç ve sıcaklığını yükseltir. Kondenserde soğutucu akışkan sıvı hâline yoğunlaşır ve buzdolabının arkasında veya altında bulunan bu kondenser aracılığıyla çevreye ısı atar. Genleşme valfi, sıvı soğutucu akışkanın basıncını ve sıcaklığını düşürerek buharlaşmasını sağlar, böylece buzdolabının içinde istenen düşük sıcaklığı korur (Yamankaradeniz ve diğ., 2017). Tek kademeli buhar sıkıştırımlı soğutma çevrim şeması ve T-s diyagramı Şekil 1’de, P-h diyagramı da Şekil 2’de verilmiştir.



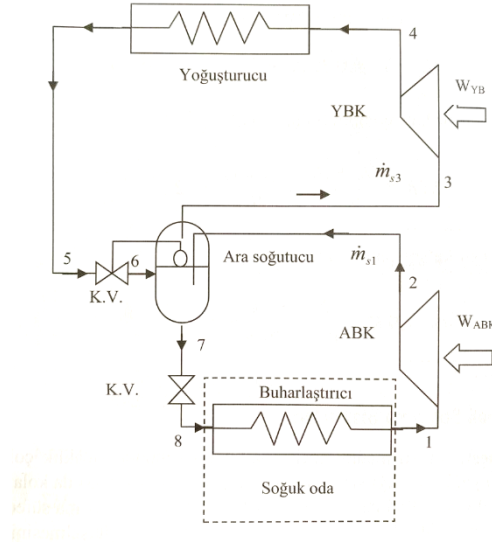
Şekil 1. Buhar sıkıştırımlı tek kademeli teorik soğutma çevrim şeması ve T-s diyagramı (Cengel ve diğ., 2011)



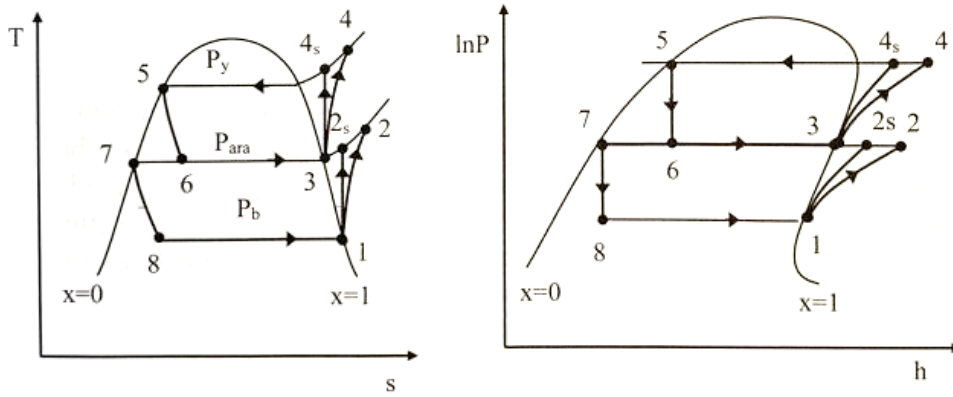
Şekil 2. Buhar sıkıştırımlı tek kademeli teorik soğutma çevriminin P-h diyagramı (Cengel ve diğ., 2011)

2.2. ÇİFT KADEMELİ ARA SOĞUTMALI BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA ÇEVİRİMİ

Bu kısımda sıkıştırma oranı 9 ve 20 arası için çift kademeli ara soğutmalı buhar sıkıştırımlı çevrimlerin kullanılması önerilmektedir. Çift kademeli ara soğutmalı soğutma çevrimi, endüstriyel ve ticari uygulamalarda tek kademeli çevrimlerle elde edilebilecek olandan daha düşük sıcaklıklar elde etmek için kullanılan bir soğutma çevrimi türüdür. Çift kademeli ara soğutmalı soğutma çevriminin tek kademeli çevrime göre bazı avantajları mevcuttur; daha az iş sarf edilerek sıkıştırma yapılır, mekanik kompresör verimi daha yüksektir, mekanik kompresör çıkış sıcaklığı daha düşüktür. Çevrimde ara soğutucu bir ısı değiştirgeci gibi işlev görür. Alçak basınç kompresörünün çıkışındaki sıcaklığı alarak doymuş buhar halindeki soğutucu akışkanı yüksek basınçlı kompresöre yönlendirir. Ara soğutucunun yoğusturucu ve buharlaştırıcı basınçlarının arasında bir basınç değerinde olmalıdır (Yamankaradeniz ve diğ., 2017). Şekil 3’te çift kademeli ara soğutmalı buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin şeması ve Şekil 4’te T-s ve lnP-h diyagramları verilmiştir.



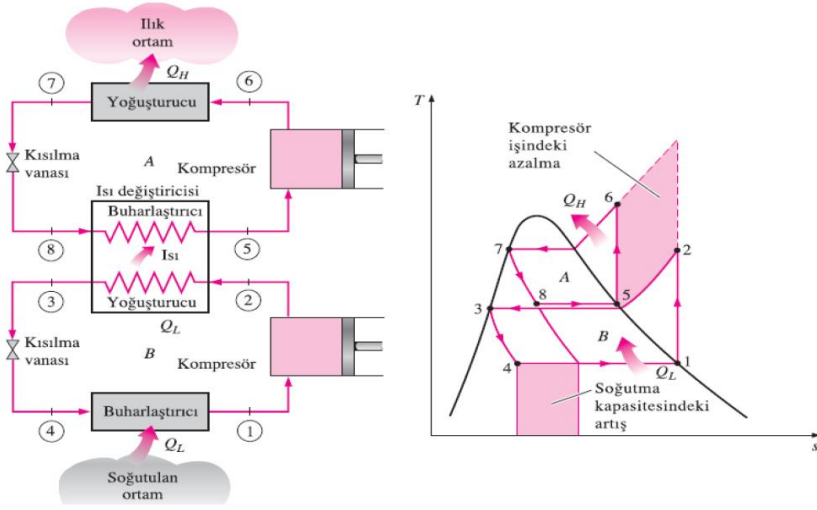
Şekil 3. Çift kademeli ara soğutmalı buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin şeması (Yamankaradeniz ve diğ., 2017)



Şekil 4. Çift kademeli ara soğutmalı buhar sıkıştırımlı soğutma çevriminin T-s ve lnP-h diyagramları (Yamankaradeniz ve diğ., 2017)

2.3. KASKAD SOĞUTMA ÇEVİRİMİ

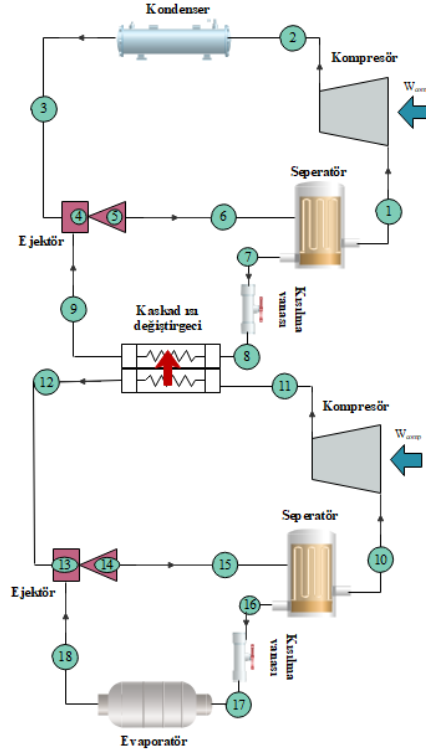
Özel endüstriyel uygulamalar veya laboratuvar çalışmalarında, düşük sıcaklıklarda soğutma gerekmektedir. Bu tür uygulamalarda, tek kademeli buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri kullanıldığında, yoğurturucu basıncı çok yüksek ve buharlaştırıcı basıncı çok düşük olur. Sıkıştırma oranı 20 ve üzerinde ise bu durumda, tek bir soğutucu akışkanın katılma sıcaklığına yaklaşılabılır. Bu ve benzer sorunları çözmek için, düşük sıcaklık gerektiren uygulamalarda farklı iki veya daha fazla soğutucu akışkan kullanılır. İki farklı tek kademeli soğutma sistemi birbirine bağlanır, böylece yüksek kademedeki sistemin buharlaştırıcısı, düşük kademedeki sistemin yoğuşma ortamı olarak kullanılır. Tek kademe soğutma sistemleri, bazı endüstriyel uygulamalarda çok düşük sıcaklıkları (-60°C / -100°C) sağlamak için uygun bir çözüm olmayabilir. Bu nedenle, kaskad soğutma sistemleri, ısı kaynağı ve ısı kuyusu arasında geniş sıcaklık aralıklarında kullanılır (Yamankaradeniz ve diğ., 2017). Şekil 5'te kaskad soğutma çevriminin şeması ve T-s diyagramı verilmiştir.



Şekil 5. Kaskad soğutma çevrim şeması ve T-s diyagramı (Cengel ve diğ., 2011)

Adebayo ve diğ., 2021, karbondioksit (CO₂) ile eşleştirilmiş farklı soğutucu akışkanlar kullanan kaskad bir soğutma sisteminin termodinamik performansı için teorik bir karşılaştırmalı analiz sunmaktadır. (düşük sıcaklık çevrimi) LTC'de CO₂ kullanırken, (yüksek sıcaklık çevrimi) HTC'de HFE7000, HFE7100, NH₃ ve R134a soğutucu akışkanları kullanır. HFE7000'nin, kaskad soğutma sistemi için COP, ekserji verimliliği ve (toplam eşdeğer ısınma etkisi) TEWI sonuçlarına göre gelecek vaat eden bir soğutucu olduğunu belirlemişlerdir. Bellos ve Tzivanidis, 2019, farklı kaskad soğutma sistemlerini; farklı soğutucu akışkanlar ile düşük sıcaklık çevriminde CO₂ kullanıldığı durum için karşılaştırmışlardır. CO₂/CO₂ kaskad sistemi dahil olmak üzere toplam 18 farklı kaskad soğutma sistemini incelemişlerdir. Enerji ve TEWI kriterlerine göre doğal soğutucu akışkanlar (NH₃, R290, R600, R600a ve R1270) en uygun seçim gibi olduğunu belirtmişlerdir. Yılmaz ve Selbaş, 2019, soğutma ve ısıtma uygulamaları için kaskad soğutma sisteminin (CCS) karşılaştırmalı termodinamik performans analizi sunmakta ve farklı soğutucu akışkan çiftleri için karşılaştırmaktadır. LTC'de çalışma akışkanı olarak CO₂ kullanılırken, HTC'de HFE 7000, R134a, R152a, R32, R1234yf ve R365mfc çalışma akışkanları kullanılmıştır. Termodinamik analizler tamamlandıktan sonra CO₂-HFE7000, CO₂-R134a, CO₂-R152a, CO₂-R32, CO₂-R1234yf ve CO₂-365mfc için CCS'nin COP (soğutma için COP) değeri sırasıyla, 1,802, 1,806, 1,826, 1,769, 1,777 ve 1,835 olarak elde edilmiştir. Chen ve diğ., 2019, kaskad mekanik sıkıştırımlı ejektörlü soğutma çevriminde alt çevrim olarak, elektrikle tahrik edilen karbon dioksit (CO₂) kritik altı mekanik sıkıştırımlı soğutma çevrimi ve üst çevrim olarak ısı tahrikli ejektörlü soğutma çevrimi kullanmışlardır. Ejektör soğutma çevrimi için çalışma akışkanları olarak R245ca, R600 ve R601b kullanmışlar. COP'deki artış için maksimum değerlerin R245ca, R600 ve R601b için sırasıyla %0,95, %1,33 ve %1,16 olduğunu ifade etmişlerdir.

Udroiu ve diğ., (2023) çalışmasında önerilen ejektörlü kaskad soğutma çevrimi Şekil 6'da verilmiştir. Udroiu ve diğ., (2023), ultra-düşük sıcaklıkta soğutma için ejektörün çift kademeli çevrimlere uygulanmasını incelemişlerdir. Çalışmada, ejektörün davranışını, tek kademede veya her iki kademede birden uygulandığında değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, ejektörün hem yüksek sıcaklık kademesinde hem de düşük sıcaklık kademesinde yer aldığı anda, çevrimde iyileştirmelere yol açan bir bileşen olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlara dayanarak, standart iki kademeli çevrimden %21 daha yüksek bir performans katsayısına ulaşan çift kademeli bir ejektör çevrimi önermişlerdir.



Şekil 6. Ejektörlü kaskad soğutma çevrim şeması (Udroiu ve diğ., 2023)

Kumar ve diğ., 2020, ısı tahrikli bir buhar ejektörlü soğutma çevrimi ile bir hibrit transkritik CO₂ soğutma çevrimini araştırmışlardır. Buhar ejektörlü soğutma sistemi, transkritik buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminde CO₂ sıkıştırması tarafından üretilen ısıdan güç almaktadır. R32 kullanılması önerilen hibrit sistemin, sistem performansını %10 ile %50 oranında iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Li ve diğ., 2018, birinci aşama çevriminde bir ejektörlü modifiye edilmiş kaskad bir soğutma sistemi üzerinde deneysel bir çalışmanın sonuçlarını sunmuşlardır. Bu araştırma, ultra düşük sıcaklıklı dik dondurucularda kullanılan ejektör genişlemeli soğutma teknolojilerinin ilerlemesinin yolunu açmaktadır. Sonuçlar, prototip için toplam enerji tüketiminin, 25°C'deki temel dondurucudan %4,77 daha az olan 11,58 kWh 24h-1 olduğunu göstermiştir. Megdoui ve diğ., 2016, gaz soğutucunun atık ısısının bir ejektörlü soğutma çevrimine güç sağlamak için kullanılabilir bir serbest enerji kaynağı olduğu yeni bir CO₂ ejektörlü kademeli soğutma çevrimi sunmuşlardır. Verilen çalışma koşulları altında ve optimum gaz soğutucu basıncında, aynı soğutma kapasitesi için geleneksel kademeli çevrime göre maksimum COP ve ikinci yasa verimliliğindeki artışlar sırasıyla %37 ve %12'ye yaklaştığını ifade etmişlerdir. Yan ve diğ., 2013 çalışma akışkanı olarak R134'a'yı ve her iki alt çevrim için hava soğutmalı kondenserleri kullanan bir kombine ejektör buhar sıkıştırma çevrimini incelemişlerdir. Test bulguları, çevrimin buhar sıkıştırımlı alt çevriminden daha yüksek bir COP'ye sahip olduğunu göstermektedir; bu sistem, belirli çalışma koşulları altında, nispeten yüksek bir COP'ye (%15,9-21,0) sahiptir. Yari ve diğ., 2008, çevrim performansını iyileştirmek için dahili bir ısı eşanjörü ve ara soğutucu içeren ejektör genişlemeli transkritik CO₂ soğutma çevriminin yeni bir konfigürasyonunu önermişlerdir. Simülasyon sonuçları, geleneksel transkritik CO₂ çevrimi ve ejektör genişlemeli transkritik CO₂ çevrimi ile karşılaştırıldığında, yeni çevrimin COP ve ikinci kanun veriminin, evaporatör sıcaklığının 10°C, gaz soğutucusu çıkış sıcaklığı 40°C ve gaz soğutucusu basıncının optimum basınç olduğu çalışma koşulları altında sırasıyla yaklaşık %55,5 ve %26 arttığını göstermektedir. Yari ve diğ., 2011 iki yeni CO₂ kaskad soğutma çevrimi önermişlerdir. İlki, üst çevrim bir ejektör genişlemeli transkritik çevrimdir ve alt çevrim bir kritik altı CO₂ çevrimidir. İkinci önerilen çevrimde; ilk çevrime ilave olarak üst çevrimde gaz soğutucusu bir rankine çevrimi ilave edilmiştir. Sırasıyla önerilen çevrimlerin (yeni ejektör- genişlemeli kaskad soğutma çevrimleri), ejektörsüz geleneksel kaskad soğutma çevrimine kıyasla %10,8-17,2 ve %18-31,5 COP artışlarına sahip olduğunu belirtmişlerdir.

3. SOĞUTMA SİSTEMLERİ İÇİN UYGUN AKIŞKAN BELİRLENMESİ

Bir soğutma çevrimi için soğutucu akışkan, istenen soğutma sıcaklığı, istenen termodinamik özellikler, işletme koşullarında kimyasal stabilite, kabul edilebilir yanıcılık, düşük toksisite, soğutma sistem bileşen malzemeleri ve kompresör yağlarıyla uyumluluk, makul maliyet ve erişilebilirlik gibi faktörlere göre seçilir. Ayrıca, bir soğutucu akışkanın



ozon delme potansiyeli (ODP) ve küresel ısınma potansiyeli (GWP) gibi çevresel faktörler de seçiminde önemli bir rol oynar. Soğutucuların kimyasal gruplamalarına dayalı olarak sınıflandırılması, ASHRAE standartları tarafından sağlanmıştır (ASHRAE Handbook, 1997). Soğutucular genel olarak halojenkarbonlar, hidrokarbonlar, organik ve inorganik bileşikler olarak sınıflandırılır. Halojenkarbonlar (karbon ve hidrojen elementlerine ek olarak flor veya klor elementi içerenler), kloroflorokarbonlar (CFC'ler), hidrokloroflorokarbonlar (HCFC'ler), hidroflorokarbonlar (HFC'ler) ve hidrofloroolefinler (HFO'ler) gibi alt sınıflara ayrılır. Küresel ısınma etkilerinin artışıyla birlikte, ortalama dış sıcaklıkların yükselmesi soğutma sistemlerinin kondenser sıcaklıklarını her yıl daha fazla arttırmak zorunda bırakmaktadır. Bu durum, soğutma sistemlerinin elektrik enerjisi tüketimini daha da artıracaktır. Bu nedenle, soğutma sistemleri, bu etkileri göz önünde bulundurarak daha etkili soğutucu akışkanlar kullanılmalıdır (Onat ve diğ., 2004). Endüstride yaygın olarak kullanılan bazı yaygın soğutucular Tablo 1'de yukarıda açıklanan sınıflandırmayla birlikte listelenmiştir.

Tablo 1. Soğutucu akışkanların özellikleri (Chakravarthy ve diğ., 2011; Kumma ve diğ., 2023; Hacipasaoglu ve Ozturk, 2023; Wang ve diğ., 2015; Udroui ve diğ., 2022; Wu ve diğ., 2021; Higashi ve diğ., 2018; Arpagaus ve diğ., 2018; Rodriguez-Jara ve diğ., 2022)

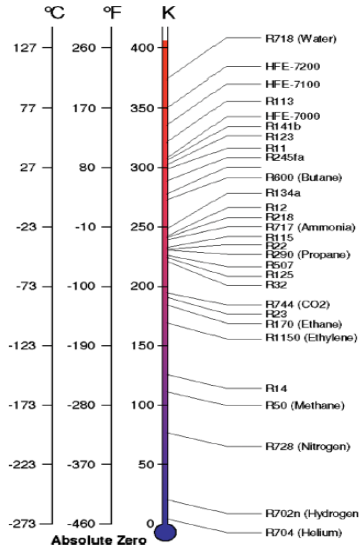
Soğutucu akışkan	Kaynama noktası sıcaklığı* (K)	Kritik sıcaklık (K)	Kritik basınç (bar)	ODP	GWP (100 yıl)
R113 (CFC)	320,73	487,3	34,4	0,9	5200
R11 (CFC)	296,98	471,2	44,1	1	4000
R114 (CFC)	276,94	418,9	32,6	0,7	16600
R12 (CFC)	243,37	385,2	41,2	1	12200
R141b (HCFC)	305,16	483,35	46,4	0,15	440
R123 (HCFC)	301,03	457,15	36,76	0,02	85
R22 (HCFC)	232,40	363,15	49,78	0,05	1480
R245fa (HFC)	288,44	383,4	31,5	0	858
R134a (HFC)	247,00	374,25	40,67	0	1300
R507 (HFC)	226,05	344,05	37,92	0	1400
R125 (HFC)	224,59	339,25	36,2	0	3500
R32 (HFC)	221,44	351,4	58,08	0	675
R23 (HFC)	191,10	298,75	48,37	0	14800
R1234yf (HFO)	244,15	367,85	33,82	0	4
R1243zf (HFO)	247,73	376,93	35,17	0	<1
R1336mzz(Z) (HFO)	306,55	444,45	29	0	2
R1234ze(Z) (HFO)	282,87	423,27	35,3	0	<1
R600 (HC)	272,66	425,12	38	0	20
R290 (HC)	231,07	369,83	42,1	0	3
R170 (HC)	184,35	305,32	48,5	0	5,5
R1150 (HC)	169,44	282,34	50,3	0	4
R50 (HC)	111,66	190,56	45,9	0	28
R718 (IC)	373,16	647,13	219,4	0	0

R717 (IC)	239,83	405,65	113,0	0	0
R744 (IC)	216,55	304,21	73,9	0	1

*1 atm için sıcaklıklar

En yaygın kullanılan soğutucu akışkanların kaynama noktaları ve diğer özellikleri Tablo 1'de ve Şekil 7'de atmosfer basıncında verilmiştir, ancak işletme basınçları çoğu uygulamada farklı olacaktır. Bir soğutucu akışkanın normal kaynama noktası, kullanılabilceği sıcaklık seviyesinin doğrudan bir göstergesidir.

Şekil 7'deki sıcaklık grafiğinde su, en yüksek kaynama noktasına sahiptir (373.16 K). Ev tipi buzdolabı ve otomobil kliması gibi alanlarda yaygın olarak kullanılan bir etan serisi HFC soğutucu olan R134a'nın atmosfer basıncında kaynama noktası 247 K'dir. Bir diğer yaygın olarak kullanılan soğutucu olan amonyağın kaynama noktası ise 239.8 K'dir. Karbondioksit, 194,7 K'da kaynama noktasına sahiptir; bu sıcaklıkta doğrudan sublime olur. Soğutucu R14'ün kaynama noktası 145,2 K'dir. Bu, bir kademeli soğutma çevriminin üçüncü kademesinde veya karışık gaz soğutma çevrimlerinde yaygın olarak kullanılır. Ardından, 111,7 K'da kaynama noktasına sahip metan gelir. Son olarak, düşük sıcaklık aralığı, nitrojen (77,4 K), neon (27,1 K), hidrojen (20,4 K) ve helyum (4,21 K) gibi kriyojenik sıvılar tarafından kaplanır. Metan (111,7 K), etilen (169 K) veya etan (184 K), propan (231 K) ve nitrojen (77,4 K) gibi hidrokarbon karışımları, doğal gazı sıvılaştırmak için karışık soğutucu çevrimlerinde kullanılır. Nitrojen, neon, R14, R23, R125 ve R134a gibi kriyojenik sıvıların karışımı, tek bir kademede düşük sıcaklıklara ulaşmak için kullanılan modern karışık gaz soğutma çevrimine dayalı kriyo-soğutucular kullanır (Chakravarthy ve diğ., 2011). Yeni soğutucular geliştirmeye yönelik mevcut araştırma ve geliştirme çabaları aşağıdakilere odaklanmaktadır (Ayub, 2007): çevresel açıdan doğa dostu olmalarını sağlamak (sıfır ODP ve düşük ömür döngüsü iklim performansı (LCCP)), performansı maksimize etmek (COP) ve düşük maliyetli olmak.



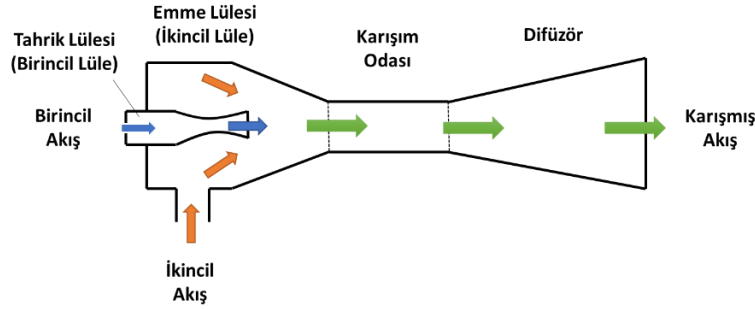
Şekil 7. Bazı soğutucu akışkanlar için Sıcaklık tablosu: atmosferik basınçta kaynama noktası (Chakravarthy ve diğ., 2011)

4. EJEKTÖR KULLANIMININ SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN PERFORMANSINA ETKİSİ

Ejektör genişlemesi, genişleme valfi veya kılcal tüpte normal olarak kaybedilen genişleme işinin geri kazanılmasıyla (buhar-sıkıştırma soğutma çevrimi) VRC'nin performansını artırmanın potansiyel bir yöntemi olarak kabul edilir. Geçtiğimiz yıllarda, birçok araştırmacı, VRC sistemlerinin soğutma, ısı pompası ve klima sistemleri de dahil olmak üzere çeşitli uygulamalardaki performanslarını artırmak için ejektör genişletme yöntemini uygulamıştır (Sarkar, 2008; Yari vd., 2013; Sarkar, 2012; Sumeru vd., 2012; Xu vd., 2012.). Bahsedilen ejektör-genişleme uygulamaları arasında, ev tipi buzdolabı-dondurucularda olduğu gibi, sistemlerde kısma işleminin neden olduğu genişleme kayıplarının daha büyük geri kazanım potansiyeli nedeniyle çekici bir seçenek olmuştur. Öncelikle ejektör özelinde yapılan çalışmalara göz atmak gerekir. Ejektörler soğutma sistemlerinde kullanılmak üzere, klasik sıkıştırma sistemlerine potansiyel bir alternatif olarak

veya daha genel olarak klasik sistemlere yardımcı olmak ve genel performanslarını iyileştirmek için incelenmiştir. Ejektörler, yağlayıcılara ihtiyaç duymadan hemen hemen her sıvı ile kullanılabilir. Basit hareketsiz bileşenler olduğu için, güvenilir, düşük maliyetli ve neredeyse bakım gerektirmezler (Aidoun vd., 2019). İki fazlı ejektörler için birincil akışkanın (sıvının) ikincil bir buharı tahrik ettiği iki fazlı ejektörlerin genişleme cihazları olarak kullanımında artan bir talep mevcuttur. Isı pompalarında, iklimlendirme ve soğutma sistemlerinde kısımla kayıplarını azaltır (Atmaca vd., 2018).

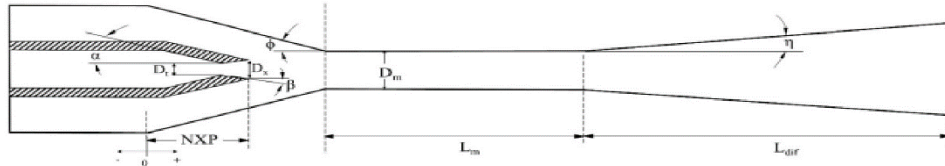
Bir ejektörden geçen akışkanın diyagramı Şekil 8'de gösterilmektedir. Yüksek basınçlı (itici veya birincil) akışkan, bir nozuldan düşük basınç ve yüksek hıza genişletilir ve düşük basınçlı (emme veya ikincil) akışkan ile karıştırılır. İki akışkanın aynı fazda olması gerekmez. Karışmış akış daha sonra difüzörde yavaşlatılır ve sahip olunan momentum statik basınca dönüştürülür. Bu nedenle ejektörün net etkisi, birincil akışkanın genişlemesi ve bununla karıştırılmasıyla sağlanan ikincil akışkanda oluşan basınç artışıdır (Elbel ve Hrnjak, 2008).



Şekil 8. Bir ejektörün basit şeması

Nakagawa vd., 2010, deneysel olarak yaptıkları çalışmalar sonucunda en küçük ve en büyük karıştırma kesit alanları arasında sistemde COP'de %10'luk bir fark ortaya çıktığını gözlemlemişlerdir. Hu vd., 2013, R410A soğutucu akışkanını ile çalışan EERC (ejektör genişletiricili soğutma çevrimi) tipi havalandırma sistemi üzerinde yaptıkları termodinamik analiz sonucunda NXP ve alan oranının sistem performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermişlerdir. Keenan ve ark. tarafından önerilen iki alternatif ejektör geometrisi kavramı vardır. Bunlar sabit basınçta karışım (CPM) ve sabit alanda karışimli ejektör modelleridir (CMA). Bilir ve Ersoy, 2009, iki fazlı sabit alan ejektörlü buhar sıkıştırma soğutma çevriminin performansını araştırmış ve incelenen alandaki minimum COP iyileşme oranının %10,1, maksimum %22,34 olduğunu bulmuşlardır.

Bir ejektörün geometrik özellikleri, türünden bağımsız olarak performans üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Maksimum performans için optimum tasarımı etkilemek üzere yaygın olarak tanımlanan tipik parametreler genellikle sabit alan kesit alanının meme boğaz kesit alanına oranı (Φ) ve meme çıkış pozisyonudur (NXP). Şekil 8'de tanımlandığı gibi sabit alan bölgesinin uzunluğu (L_m) ve karıştırma bölgesi ve difüzör açıları (sırasıyla ϕ ve η) ve ayrıca birincil nozulun oluşturduğu β açısı da dikkate alınmaktadır (Aidoun vd., 2019). Şekil 9'da ejektör geometrisinin parametreleri bir ejektörün basit şemasıyla verilmiştir.



Şekil 9. Ejektör geometrisi parametreleri (Aidoun vd., 2019)

4.1. EJEKTÖR GENLEŞTİRİCİLİ SOĞUTMA ÇEVİRİMİ (EESC) TEORİK ÇALIŞMALAR

Kornhauser, 1990, EESC performans analizleri sonucunda, standart çevrim üzerinde yapılan iyileştirmelerin kullanılan soğutucu akışkana bağlı olduğunu ve bunların birçoğu için standart COP'un %21 üzerinde bir COP değerinin mümkün olduğunu gösterdi. Bununla birlikte, COP verim iyileştirme oranlarının ejektör bileşenlerinin verimliliğine oldukça duyarlı olduğu ortaya çıkmıştır (Domanski, 1997). Nehdi vd., 2007, analizlerini birkaç geleneksel soğutucuyu içeren termodinamik model hususlarına dayandırırken, ejektör tasarımının geometrik parametrelerinin sistemin performansı üzerinde önemli etkileri olduğu sonucuna varmışlardır. Optimum ve belirli çalışma koşulları için R141b ile en iyi



performansın elde edildiğini gözlemlenmiştir. Standart çevrim ile karşılaştırıldığında, EESÇ'nin COP'si yaklaşık %22'lik bir artış göstermiştir. Sarkar, 2010, soğutucu akışkanların ve optimize edilmiş ejektör geometrisinin EESÇ üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Termodinamik analize dayanarak yazar, maksimum COP'yi elde edebilmek için çevrimde amonyak, propan ve izobüten kullanmıştır. Genleşme cihazı olarak ejektörün kullanıldığı bu sistemde evaporatör ve kondenser sıcaklıkları sırası ile $T_e = 5^{\circ}\text{C}$ ve $T_c = 40^{\circ}\text{C}$ olarak alındığında, izobüten maksimum %21,6 COP iyileşmesi ve ardından propan (% 17,9) ve amonyak (% 11,9) sağlamışlardır.

Bai vd., 2018, zeotropik karışım soğutucu ile geliştirilmiş ejektörlü soğutma çevrimi üzerinde deneysel araştırma yürütmüşlerdir ve ejektör çevriminin geleneksel çevrimden %9,6 daha yüksek COP sağlayabildiğini bulmuşlardır. Zhao vd., 2015, zeotropik karışımlar kullanılarak bir ejektör soğutma çevriminin performansını teorik olarak değerlendirmişlerdir ve sonuçlar COP iyileşmesinin %10,5'e kadar ulaşabileceğini göstermektedir.

4.2. ÇİFT FAZLI EJEKTÖR ÇEVİMLERİ VE UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Zhou vd., 2013, çift nozul ejektör çevriminin, R134a ile ev tipi buzdolabı dondurucuda kullanım amacıyla teorik analizlerini yapmışlardır. Ejektör, genleşme kayıplarının geri kazanılma oranını artırmak için iki nozul ile donatılmıştır. Simülasyonlarda geleneksel buhar sıkıştırma soğutma çevrimi ile bu çevrim karşılaştırıldığında %22,9 – 50,8'lik COP artışı öngörülmüştür. Geleneksel bir EESÇ ile karşılaştırıldığında ise COP benzer koşullar için %10,5-30,8 daha üstün bulunmuştur. Yazarlar, R600 soğutucu akışkan ile daha yüksek performansa çıkılabileceğini tahmin etmişlerdir.

Zhu vd., 2014, çift nozul çevrimi üzerinde yapılan çalışmalar, aynı yazarlar tarafından yapılmış önceki bir araştırmanın bir uzantısıdır (Zhou vd., 2013). Çift nozul ile donatılmış ve ejektör entegre edilmiş bir çevrimden oluşur. Çift ejektör prensibi üzerine inşa edilen çevrim farklı sıcaklık seviyelerinde iki ısı kaynağı kullanılabilir ve ısı pompası performansını artırabilir. Yazarlar tarafından yapılan ve R410A temelli simülasyonlar, geleneksel ejektörlü buhar sıkıştırma çevrimine göre sırasıyla COP ve hacimsel kapasite aralıkları olarak %4,60-34 ve %7,8-51,9 aralığında yaklaşık performans artışı öngörülmektedir.

Wang vd., 2014, çevrim ile ev tipi buzdolabı dondurucusu için çift fazlı ejektör uygulamasının, çevrim performansının artırılması için iyi bir potansiyele sahip olduğunu belirlemişlerdir. Literatürde bulunan çeşitli konfigürasyonlar teorik olarak değerlendirilmiş ve yeni, modifiye edilmiş bir konfigürasyon ile karşılaştırılmıştır. Maksimum COP ve çevrim üzerindeki soğutma kapasite artışları geleneksel buhar sıkıştırma soğutma sistemiyle karşılaştırıldığında sırasıyla %11,4 ve %22 olduğu belirlenmiştir. Ek olarak, genellikle literatürde önerilen diğer ejektör tabanlı konfigürasyonlardan daha üstün olduğu iddia edilmiştir.

Chen vd., 2020, sistem performansını artırmak için (geliştirilmiş buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimi) EVRC'de dahili bir ısı eşanjörü ve bir sıvı-buhar ayırıcı kullanılır. EVRC'ye, Lorenz-Meutzer buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimine (LVRC) ek olarak sıvı-buhar ayırıcı ve ejektör ilave edilerek sistem geliştirmeleri yapılmıştır. EVRC'nin enerji ve ekserji analizi, sistemin çalışma özelliklerini değerlendirmek için yapılır ve LVRC ve geleneksel buhar sıkıştırma soğutma çevrimi (TVRC) ile karşılaştırılır. Sonuçlar, EVRC'nin aynı çalışma koşulları altında hem TVRC hem de LVRC'ye göre en üst avantajları sağlayabildiğini göstermektedir. TVRC ile karşılaştırıldığında, EVRC'nin performans katsayısını, hacimsel soğutma kapasitesini ve ekserji verimliliğini sırasıyla %13,5, %19,3 ve %13,4 oranında artırdığı gözlenmiştir.

Cui vd., 2020, bilinen (kondenser çıkışı ayırım) COS ejektör çevriminde bir yenilik yaparak (yeni kondenser çıkışı ayırım) NCOS sistemini bulmuşlardır. Bu sistemde, evaporatöre iki fazlı soğutucu akışkan girişinin aşırı basınç düşüşüne neden olduğu ve gereksiz buharın sıkıştırılmasının ejektör performansına olumsuz etkisinin olduğu anlaşılmıştır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için, düşük sıcaklıktaki evaporatöre buhar beslemesini en aza indirmek için sisteme bir sıvı-buhar ayırıcı eklenerek modifiye edilmiş bir çevrim önermişlerdir. Yeni çevrimin teorik incelemeleri, geleneksel COS çevrimine kıyasla %7,7 ve %5,5 COP ve hacimsel soğutma kapasitesinde iyileşme olduğunu göstermektedir.

Takleh ve Zara, 2019, yeni bir ejektör-genleşmeli soğutma çevrimi (EERC) önermişlerdir. Sonuçlar, araştırılan soğutucu akışkanlar arasından R1234ze'nin önerilen sistem için standart EERC'ye göre %5,7 ve geleneksel buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimine göre %15,5 daha yüksek ekserji verimlilik değerlerine sahip olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, 40°C kondenser sıcaklığı ve 5°C buharlaştırıcı sıcaklığı koşullarında elde edilmiştir.

Chen ve diğ., 2022, ev tipi buzdolabı/dondurucu uygulaması için R290/R600a karışım soğutucu akışkan kullanılarak modifiye edilmiş bir ejektörlü çift sıcaklık kullanılan soğutma çevrimi (MERC) sunmuşlardır. Analiz sonuçları, tipik çalışma koşullarında MERC'nin COP ve soğutma kapasitesi değerlerinin BERC'ye göre sırasıyla %23,1 ve %34,7 arttığını göstermektedir. Ayrıca, MERC'nin her bileşeni, BERC'nin bileşenlerine göre daha düşük seviyede ekserji yıkımı göstermekte olup, ekserji veriminde %22,9 iyileşme sağlanmıştır.

5. NANOPARTİKÜL UYGULAMASININ SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN PERFORMANSINA ETKİSİ

Nano-soğutucular, nanometre ölçeğinde katı parçacıkların (1-100 nm) yüksek termal iletkenliğe sahip soğutucu maddelerle karıştırıldığı nanopartiküllerin yeni bir sınıfı olarak literatürde tanımlanmaktadır (Aktas ve diğ., 2015; Sanukrishna ve diğ., 2017). Nanopartiküllerin baz sıvıya kıyasla üstün termal iletkenlik özelliği nedeniyle ısı transfer katsayısı, baz sıvıya nanopartiküllerin eklenmesiyle artmaktadır. Isı transferindeki bu artış, sıvı, buhar ve çift faz bölgesinde gerçekleşmektedir. Bu iyileştirmenin derecesi, nanopartiküllerin ve kütsel/hacimsel fraksiyonlarının özelliklerine bağlıdır (Kosmadakis ve Neofytou, 2020). Nanopartiküllerin sıvılar veya gazlara göre daha yüksek yoğunluğa sahip olmaları, eklenen nanopartiküllerin özgül ısılarının soğutucunun özgül ısısından daha yüksek olması ve elde edilen nano-soğutucunun termal iletkenlik değerine göre termal iletkenliğinin artması nedeniyle nanopartikül kullanımı sistem performansını artırır. Nano-soğutucunun akışı, nanopartiküllerin yüzeyine etki eden hidrodinamik kuvvet tarafından etkilenir ve nanopartiküllerin gerçek hacmini ölçmek son derece zor olduğu için, çözümün hacim oranı kütle oranından daha önemli bir faktör olarak kabul edilir. Sonuç olarak, nanopartiküllerin mutlak hacmini tahmin etmek zordur ve genellikle dönüşüm formülü kullanılır (Kabeel vd., 2013). Tablo 2'de 25°C için bazı nanopartiküllerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 2. 25°C için bazı nanopartiküllerin özellikleri (Yildiz ve diğ., 2021)

Nanopartikül	Isıl iletkenlik (W/m-K)	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül ısı kapasite (kJ/kg-K)
CuO	33	6315	530
ZnO	27,2	5630	494
ZrO ₂	1,85	5560	456
Al ₂ O ₃	40	3900	880
SiO ₂	1,4	2220	692
Fe ₂ O ₃	8,4	5240	628
MgO	61,9	3580	921

Nanopartiküller üzerinde birçok sayısal ve deneysel çalışma yapılmış olsa da araştırmaların çoğu nano-soğutucuların temel özellikleri ve ısı transfer karakteristiklerine odaklanmaktadır. Nano-soğutucularla soğutma çevrimi performans katsayısının değerlendirilmesine yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır, özellikle nanopartikül destekli buhar-sıkıştırılmalı soğutma çevriminin uygulanabilirliği konusunda çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Tablo 3'te nano-soğutucu kullanılmış olan çalışmaların literatür özeti verilmiştir.

Tablo 3. Nano-soğutucu kullanılan sistemlerin özeti

Yazarlar	Sistem	Çalışmanın şekli	Soğutucu akışkan	Nanopartikül	Değerlendirme
Singh ve Lal, 2014	Buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemi	Deneysel	R134a	%0,5 wt Al ₂ O ₃	%0,5 Al ₂ O ₃ ile COP'de %7,2 – 8,5 aralığında artış belirlenmiştir.
Kumar ve diğ., 2016	Buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemi	Teorik	R134a ve R152a	%0,01 0,06 wt ZrO ₂	R152a-%0,06 ZrO ₂ ile COP'de %33,45 oranında artış belirlenmiştir.
Sharif ve diğ., 2017	Buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemi	Deneysel	R134a	%0–0,7 vol SiO ₂	Nanopartikül ilavesi ile maksimum ve ortalama COP artış oranı sırasıyla, %24 ve %10,5'dir.

					Optimum nanopartikül oranı %0,05 olarak belirlenmiştir.
Hussain ve diğ., 2018	Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi	Deneysel	R134a	%0,01, 0,005 ve 0,001 wt Al ₂ O ₃	%0,01, %0,005 ve %0,001 wt. Al ₂ O ₃ ilavesi ile sırasıyla COP %25,7, %17,46 ve %11,74 oranlarında artmıştır.
Ande ve diğ., 2018	Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi	Deneysel	R134a	%1,6 wt CuO	COP %16,66 oranında artmıştır. Enerji tüketimi %13,79 oranında azalmıştır.
Alawi ve diğ., 2019	Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi	Teorik	R141b	%1–4 vol Al ₂ O ₃	Saf R141b ile karşılaştırıldığında COP %15,13 oranında artmıştır.
Selimefendigil ve Bingolbali, 2019	Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi	Deneysel	R134a	%0,5 ve 1 vol TiO ₂	%1 ZrO ₂ ile COP %21,42 artmıştır.
Kundan ve Singh, 2021	Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi	Deneysel	R134a	%0,5 ve 1 wt Al ₂ O ₃	COP %16,34 oranında artmıştır.
Aktemur ve Öztürk, 2022	Yükseltici destekli ejektör genişlemeli buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi	Teorik	R1270	%2 wt CuO	Saf soğutucu ile karşılaştırıldığında COP'de %8,96 artış, toplam ekserji yıkımında %21,23 oranında düşüş gerçekleşmiştir.
Li ve Lu, 2022	Buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemi	Teorik	R600a, R134a, R1234yf, ve R1233zd(E)	%0,3 wt Al ₂ O ₃	%0,3 Al ₂ O ₃ ile R1233zd(E) ve R600a kullanımı COP'yi yaklaşık %20, R1233zd(E) + Al ₂ O ₃ ise maksimum ekserji verimini %38,46 oranında artırmıştır.

6. SONUÇLAR



Bu çalışma buhar sıkıştırırmalı bir soğutma sistem tasarımı yapmak isteyen bir uygulayıcı için soğutma çevrimi ve soğutucu akışkan seçme noktasında ve soğutma çevriminin performans katsayısını artırma noktasında neler yapılabileceği ile ilgili bir kaynak oluşturması amacıyla yapılmıştır. Buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi belirlenmesi sırasında; sıkıştırma oranı esas alınarak, literatürde yer alan ve tek kademeli, ara soğutmalı çift kademeli ve kaskad soğutma çevrimlerinin hangi durumlarda tercih edilmesi gerektiği, bununla birlikte bu çevrimler üzerinde ejektör kullanılması durumunda çevrimlerin performans katsayılarının %4,6-50,8 aralıklarında iyileşebildiği belirlenmiştir. Ayrıca belirlenen çevrimin teorik analizlerinin uygulanması sırasında soğutucu akışkan seçimi ve soğutucu akışkana nanopartikül ilavesi çevrimin performansını artırma konusunda önemlidir. İncelenen çalışmalar neticesinde; nanopartikül kullanımının soğutma çevrimlerinin performans katsayısında %7,2-33,45 arasında bir iyileşme sağladığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak, uygun seçilen soğutma çevriminde uygun kullanılan soğutucu akışkana ilave olarak, ejektör ve nano partikül ilavesiyle, klasik buhar sıkıştırırmalı çevrime nazaran soğutma tesir katsayısında en az %25 oranında bir artış elde edilebilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Adebayo, V., Abid, M., Adedeji, M., Dagbasi, M., & Bamisile, O. (2021). Comparative thermodynamic performance analysis of a cascade refrigeration system with new refrigerants paired with CO₂. *Applied Thermal Engineering*, 184, 116286.
- [2] Aidoun, Z., Ameer, K., Falsafioon, M., & Badache, M. (2019). Current Advances in Ejector Modeling, Experimentation and Applications for Refrigeration and Heat Pumps. Part 2: Two-Phase Ejectors. *Inventions*, 4(1), 16.
- [3] Aktas, M., Dalkilic, A. S., Celen, A., Cebi, A., Mahian, O., & Wongwises, S. (2015). A theoretical comparative study on nanorefrigerant performance in a single-stage vapor-compression refrigeration cycle. *Advances in Mechanical Engineering*, 7(1), 138725.
- [4] Aktemur, C., & Öztürk, İ. T. (2022). Thermodynamic performance enhancement of booster assisted ejector expansion refrigeration systems with R1270/CuO nano-refrigerant. *Energy Conversion and Management*, 253, 115191.
- [5] Alawi, O. A., Salih, J. M., & Mallah, A. R. (2019). Thermo-physical properties effectiveness on the coefficient of performance of Al₂O₃/R141b nano-refrigerant. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 103, 54-61.
- [6] Ande, R., Koppala, R. S., & Hadi, M. (2018). Experimental investigation on VCR system using nano-refrigerant for COP enhancement. *Chemical Engineering*, 71.
- [7] Arpagaus, C., Bless, F., Uhlmann, M., Büchel, E., Frei, S., Schiffmann, J., & Bertsch, S. (2018). High temperature heat pump using HFO and HCFO refrigerants-System design, simulation, and first experimental results.
- [8] ASHRAE Handbook—Fundamentals, 1997, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA.
- [9] Atmaca, A. U., Erek, A., & Ekren, O. Sabit Alanda ve Sabit Basınçta Karışımli Ejektör Modellerinin Performans Değerlendirmesi. *Mühendis ve Makina*, 59(690), 89-118.
- [10] Ayub, Z. H. (2007). Natural refrigerants: present and future trend toward "green" solution. *Heat Transfer Engineering*, 28(7), 605-607.
- [11] Bai, T., Yan, G., & Yu, J. (2018). Experimental investigation of an ejector-enhanced auto-cascade refrigeration system. *Applied Thermal Engineering*, 129, 792-801.
- [12] Bellos, E., & Tzivanidis, C. (2019). A theoretical comparative study of CO₂ cascade refrigeration systems. *Applied Sciences*, 9(4), 790.
- [13] Bilir, N., & Ersoy, H. K. (2009). Performance improvement of the vapour compression refrigeration cycle by a two-phase constant area ejector. *International journal of energy research*, 33(5), 469-480.
- [14] Carroll, P., Chesser, M., & Lyons, P. (2020). Air Source Heat Pumps field studies: A systematic literature review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 134, 110275.



- [15] Chakravarthy, V. S., Shah, R. K., & Venkatarathnam, G. (2011). A review of refrigeration methods in the temperature range 4–300 K.
- [16] Chen, G., Ierin, V., Volovyk, O., & Shestopalov, K. (2019). An improved cascade mechanical compression–ejector cooling cycle. *Energy*, 170, 459–470.
- [17] Chen, Q., Hwang, Y., Yan, G., & Yu, J. (2020). Theoretical investigation on the performance of an ejector enhanced refrigeration cycle using hydrocarbon mixture R290/R600a. *Applied Thermal Engineering*, 164, 114456.
- [18] Chen, Q., Yu, M., Yan, G., & Yu, J. (2022). Thermodynamic analyses of a modified ejector enhanced dual temperature refrigeration cycle for domestic refrigerator/freezer application. *Energy*, 244, 122565.
- [19] Cui, Z., Qian, S., & Yu, J. (2020). Performance assessment of an ejector enhanced dual temperature refrigeration cycle for domestic refrigerator application. *Applied Thermal Engineering*, 168, 114826.
- [20] Domanski, P. A. (1997). Minimizing throttling losses in the refrigeration cycle. In *Fuel and Energy Abstracts* (Vol. 6, No. 38, p. 435).
- [21] Elbel, S., & Hrnjak, P. (2008). Ejector refrigeration: an overview of historical and present developments with an emphasis on air-conditioning applications.
- [22] Hacıpaşaoğlu, S. G., & Öztürk, İ. T. (2023). Energy and exergy analysis in the ejector expansion refrigeration cycle under optimum conditions. *International Advanced Researches and Engineering Journal*, 7(1), 23-34.
- [23] Higashi, Y., Sakoda, N., Islam, M. A., Takata, Y., Koyama, S., & Akasaka, R. (2018). Measurements of saturation pressures for trifluoroethene (R1123) and 3, 3, 3-trifluoropropene (R1243zf). *Journal of Chemical & Engineering Data*, 63(2), 417-421.
- [24] Hussain, T., Khan, F., Ansari, A. A., Chaturvedi, P., & Yahya, S. M. (2018, June). Performance improvement of vapour compression refrigeration system using Al₂O₃ nanofluid. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 377, No. 1, p. 012155). IOP Publishing.
- [25] Kabeel, A. E., Abou El Maaty, T., & El Samadony, Y. (2013). The effect of using nano-particles on corrugated plate heat exchanger performance. *Applied Thermal Engineering*, 52(1), 221-229.
- [26] Kornhauser, A. A. (1990). The use of an ejector as a refrigerant expander.
- [27] Kosmadakis, G., & Neofytou, P. (2020). Investigating the performance and cost effects of nanorefrigerants in a low-temperature ORC unit for waste heat recovery. *Energy*, 204, 117966.
- [28] Kumar, K., Gupta, H. K., & Kumar, P. (2020). Analysis of a hybrid transcritical CO₂ vapor compression and vapor ejector refrigeration system. *Applied Thermal Engineering*, 181.
- [29] Kumar, V. S., Baskaran, A., & Subramanian, K. M. (2016). A performance study of Vapour compression refrigeration system using ZrO₂ Nano particle with R134a and R152a. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 6(12), 410-421.
- [30] Kumma, N., Sarath, S., & Kruthiventi, S. H. (2023). Exergy and performance analysis of low GWP and Non-flammable HFO based refrigerant mixtures as alternatives to R134a. *Thermal Science and Engineering Progress*, 39, 101691.
- [31] Kundan, L., & Singh, K. (2021). Improved performance of a nanorefrigerant-based vapor compression refrigeration system: A new alternative. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 235(1), 106-123.
- [32] Li, S., & Lu, J. (2022). A Theoretical Comparative Study of Vapor-Compression Refrigeration Cycle using Al₂O₃ Nanoparticle with Low-GWP Refrigerants. *Entropy*, 24(12), 1820.



- [33] Li, W., Li, Y., Shi, W., & Lu, J. (2021). Energy and exergy study on indirect evaporative cooler used in exhaust air heat recovery. *Energy*, 235, 121319.
- [34] Li, Y., Yu, J., Qin, H., Sheng, Z., & Wang, Q. (2018). An experimental investigation on a modified cascade refrigeration system with an ejector. *International Journal of Refrigeration*, 96, 63–69.
- [35] Liu, B., Guo, X., Xi, X., Sun, J., Zhang, B., & Yang, Z. (2023). Thermodynamic analyses of ejector refrigeration cycle with zeotropic mixture. *Energy*, 263, 125989.
- [36] Megdouli, K., Tashtoush, B. M., Nahdi, E., Elakhdar, M., Kairouani, L., & Mhimid, A. (2016). Analyse thermodynamique d'un nouveau cycle frigorifique à éjecteur- en cascade pour la congélation et le conditionnement d'air. *International Journal of Refrigeration*, 70, 108–118.
- [37] Nakagawa, M., Marasigan, A. R., & Matsukawa, T. (2010). Experimental analysis of two-phase ejector system with varying mixing cross-sectional area using natural refrigerant CO₂. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, 18(04), 297-307.
- [38] Nehdi, E., Kairouani, L., & Bouzaina, M. (2007). Performance analysis of the vapour compression cycle using ejector as an expander. *International journal of energy research*, 31(4), 364-375.
- [39] Onat, A., İmal, M., & İnan, A. T. (2004). Soğutucu akışkanların ozon tabakası üzerine etkilerinin araştırılması ve alternatif soğutucu akışkanlar. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 32-38.
- [40] Rodríguez-Jara, E. Á., Sánchez-de-la-Flor, F. J., Expósito-Carrillo, J. A., & Salmerón-Lissén, J. M. (2022). Thermodynamic analysis of auto-cascade refrigeration cycles, with and without ejector, for ultra low temperature freezing using a mixture of refrigerants R600a and R1150. *Applied Thermal Engineering*, 200, 117598.
- [41] Rodríguez-Jara, E. Á., Sánchez-de-la-Flor, F. J., Expósito-Carrillo, J. A., & Salmerón-Lissén, J. M. (2022). Thermodynamic analysis of auto-cascade refrigeration cycles, with and without ejector, for ultra low temperature freezing using a mixture of refrigerants R600a and R1150. *Applied Thermal Engineering*, 200, 117598.
- [42] Sarkar, J. (2008). Optimization of ejector-expansion transcritical CO₂ heat pump cycle. *Energy*, 33(9), 1399-1406.
- [43] Sarkar, J. (2010). Geometric parameter optimization of ejector-expansion refrigeration cycle with natural refrigerants. *International Journal of Energy Research*, 34(1), 84-94.
- [44] Sarkar, J. (2012). Ejector enhanced vapor compression refrigeration and heat pump systems--A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(9), 6647-6659.
- [45] Selimefendigil, F. (2019). Experimental investigation of nano compressor oil effect on the cooling performance of a vapor-compression refrigeration system. *Journal of Thermal Engineering*, 5(1), 100-104.
- [46] Sharif, M. Z., Azmi, W. H., Redhwan, A. A. M., Mamat, R., & Yusof, T. M. (2017). Performance analysis of SiO₂/PAG nanolubricant in automotive air conditioning system. *international journal of refrigeration*, 75, 204-216.
- [47] Singh, K., & Lal, K. (2014). An investigation into the performance of a nano-refrigerant (R134a+ Al₂O₃) based refrigeration system. In *4th International Conference on Advances in Materials and Manufacturing Technology*.
- [48] SS, S., & AS, V. (2017). Nanorefrigerants for energy efficient refrigeration systems. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31, 3993-4001.
- [49] Sumeru, K., Nasution, H., & Ani, F. N. (2012). A review on two-phase ejector as an expansion device in vapor compression refrigeration cycle. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4927-4937.
- [50] Takleh, H. R., & Zare, V. (2019). Performance improvement of ejector expansion refrigeration cycles employing a booster compressor using different refrigerants: Thermodynamic analysis and optimization. *International Journal of Refrigeration*, 101, 56-70.



- [51] Udriou, C. M., Mota-Babiloni, A., & Navarro-Esbrí, J. (2022). Advanced two-stage cascade configurations for energy-efficient -80°C refrigeration. *Energy Conversion and Management*, 267, 115907.
- [52] Udriou, C. M., Mota-Babiloni, A., Giménez-Prades, P., Barragán-Cervera, Á., & Navarro-Esbrí, J. (2023). Two-stage cascade configurations based on ejectors for ultra-low temperature refrigeration with natural refrigerants. *International Journal of Thermofluids*, 17, 100287.
- [53] Wang, F., Shen, S. Q., & Li, D. Y. (2015). Evaluation on environment-friendly refrigerants with similar normal boiling points in ejector refrigeration system. *Heat and Mass Transfer*, 51, 965-972.
- [54] Wang, X., Yu, J., Zhou, M., & Lv, X. (2014). Comparative studies of ejector-expansion vapor compression refrigeration cycles for applications in domestic refrigerator-freezers. *Energy*, 70, 635-642.
- [55] Wu, D., Hu, B., & Wang, R. Z. (2021). Vapor compression heat pumps with pure Low-GWP refrigerants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138, 110571.
- [56] Xu, X. X., Chen, G. M., Tang, L. M., & Zhu, Z. J. (2012). Experimental investigation on performance of transcritical CO₂ heat pump system with ejector under optimum high-side pressure. *Energy*, 44(1), 870-877.
- [57] Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Coşkun, S., Kaynaklı, Ö., & Yamankaradeniz, N. (2017). Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları.
- [58] Yan, J., Cai, W., Zhao, L., Li, Y., & Lin, C. (2013). Performance evaluation of a combined ejector-vapor compression cycle. *Renewable Energy*, 55, 331-337.
- [59] Yari, M., & Sirousazar, M. (2008). Cycle improvements to ejector-expansion transcritical CO₂ two-stage refrigeration cycle. *International Journal of Energy Research*, 32(7), 677-687.
- [60] Yari, M., Mehr, A. S., & Mahmoudi, S. M. S. (2013). Thermodynamic analysis and optimization of a novel dual-evaporator system powered by electrical and solar energy sources. *Energy*, 61, 646-656.
- [61] Yari, Mortaza, & Mahmoudi, S. M. S. (2011). Thermodynamic analysis and optimization of novel ejector-expansion TRCC (transcritical CO₂) cascade refrigeration cycles (Novel transcritical CO₂ cycle). *Energy*, 36(12), 6839-6850.
- [62] Yilmaz, F., & Selbaş, R. (2019). Comparative thermodynamic performance analysis of a cascade system for cooling and heating applications. *International Journal of Green Energy*, 16(9), 674-686.
- [63] Zhao, L., Yang, X., Deng, S., Li, H., & Yu, Z. (2015). Performance analysis of the ejector-expansion refrigeration cycle using zeotropic mixtures. *international journal of refrigeration*, 57, 197-207.
- [64] Zhou, M., Wang, X., & Yu, J. (2013). Theoretical study on a novel dual-nozzle ejector enhanced refrigeration cycle for household refrigerator-freezers. *Energy conversion and management*, 73, 278-284.
- [65] Zhu, L., Yu, J., Zhou, M., & Wang, X. (2014). Performance analysis of a novel dual-nozzle ejector enhanced cycle for solar assisted air-source heat pump systems. *Renewable energy*, 63, 735-740.



tmmob
makina mühendisleri odası

SOĞUTMA KULELERİNDE BULUNAN AKSİYEL FANLARIN ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

(Cemal ÇETİN, Teknik Müdür, Beste SARIKAŞ, Enerji Sistemleri Mühendisi, İzmit/KOCAELİ, ccetin@ekosmart.com.tr, bsarikas@ekosmart.com.tr)

ÖZET

Bu çalışmada kimya sektöründe kullanılan soğutma kulelerinde yapılan enerji verimliliği çalışmaları incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, kimya sektöründe yapılan iyileştirmelerle enerji tasarrufu sağlanmıştır.

Öncelikle, su soğutma kulelerinde kullanılan alüminyum fan kanatları, yüksek verimli E-cam elyaf takviyeli epoksi fan kanatlarıyla değiştirilerek %20-25 enerji tasarrufu elde edilmiştir.

Bu çalışma, soğutma kulelerinde fan kanatları yapılan iyileştirmelerle endüstriyel işletmelerde enerji tasarrufu sağlanabileceğini ve CO₂ salımlarının azaltılabileceğini göstermektedir.

ANAHTAR KELİMELER

Soğutma Kulesi, Aksiyel Fan, Enerji Verimliliği

THE IMPACT OF AXIAL FANS IN COOLING TOWERS ON ENERGY EFFICIENCY

(Cemal ÇETİN, Technical Manager, Beste SARIKAŞ, Energy Systems Engineer, İzmit/KOCAELİ, ccetin@ekosmart.com.tr, bsarikas@ekosmart.com.tr)

ABSTRACT

This study examines energy efficiency practices carried out in cooling towers used in the chemical industry. According to the results of the study, energy savings have been achieved through improvements made in the chemical sector.

Firstly, by replacing aluminum fan blades used in water cooling towers with high-efficiency epoxy fiberglass fan blades, energy savings of around 20-25% have been achieved.

This study demonstrates that energy savings can be achieved in industrial enterprises through improvements in fan blades and pump systems in cooling towers, leading to a reduction in CO₂ emissions.

KEYWORDS

Cooling Tower, Axial Fan, Energy Efficiency.



1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artması, sanayileşmenin yaygınlaşması ve teknolojik gelişmeler enerji ihtiyacını artırıyor. Bu artış, küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi çevresel sorunları da beraberinde getiriyor.

Enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve enerji verimliliği konuları, enerji arz talep dengesini sağlamak için önemli hale gelmiştir. Enerji verimliliği çalışmalarlarıyla ürün/hizmet kalitesinden ve yaşam standartlarından ödün vermeden enerji tüketimi azaltılabilir.

2020 yılında Türkiye'deki enerji tüketiminin sektörel dağılımına bakıldığında, sanayi sektörünün %36,26'lık bir paya sahip olduğu görülmektedir (URL-2). Sanayi sektöründe enerjinin verimli kullanılmasıyla üretim maliyetleri düşürülebilir, bu da işletmelerin karlılığını ve rekabet gücünü artırır.

Türkiye'deki sanayide enerji yoğun prosesler arasında basınçlı hava prosesleri, ısıtma prosesleri ve soğutma prosesleri yer almaktadır. Soğutma ihtiyacının karşılanması için en yaygın ekipmanlardan biri soğutma kuleleridir.

Bu çalışmada, kimya sektöründe soğutma kulesinde fan kanatlarının özel tasarım E-cam elyaf takviyeli epoksi fan kanatları ile değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufları incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Enerji verimliliği, EİE tarafından üretim miktarını ve kaliteyi düşürmeden, iktisadi kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden tüketilen enerji miktarının en aza indirilmesi olarak tanımlanmıştır (Narin M.Akdemir, 2006). Bu kapsamda enerji tüketim noktalarındaki kayıpların önlenmesi, atıkların ve/veya atık enerjinin geri kazanılarak değerlendirilmesi, daha verimli sistemlerin kullanılmasıyla enerji tüketiminin azaltılması gibi adımlar yer almaktadır (Narin M. Akdemir, 2006).

Ülkemizde enerjinin en yoğun kullanıldığı sektör olan sanayide enerji verimliliği çalışmaları son derece önemlidir. Sanayide enerji verimliliğinin sağlanması, kaynakların verimli kullanılması ve çevresel etkilerin azaltılması açısından büyük öneme sahiptir. Enerji tasarruf potansiyellerinin belirlenmesi, enerji izleme sistemlerinin kurulması ve kullanılması, enerji tüketiminin takip edilmesi, yeni teknolojilerin kullanılması, çevresel faktörlere ve iklim şartlarına uygun uygulamaların yapılması gibi birçok yöntemle enerji verimliliği sağlanabilir.

2.2. SOĞUTMA KULESİ

Soğutma kuleleri, sistemden ısınarak gelen suyu soğutmak için kullanılan ısı atma üniteleridir. Bu kuleler, suyun bir kısmını buharlaştırarak atmosfere atar ve geri kalanını alttaki tankta biriktirir. Bu sayede su, gerekli sıcaklığa kadar soğur.



Soğutma kuleleri, enerji santralleri, sanayi tesisleri ve iklimlendirme endüstrisi gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılır. Büyük tesisler için yüksek kapasiteli soğutma kuleleri tasarlanabilirken, orta ve küçük ölçekli sanayi kolları için de farklı kapasitelerde tasarımlar mevcuttur.

Sanayideki birçok sektörde, proseslerden uzaklaştırılması gereken ısı bulunur. Bu ısıyı uzaklaştırmak için soğutma kuleleri, suyu ısı transfer aracı olarak kullanır ve ısıyı soğutucu yoğunlaştırucularından veya ısı eşanjörlerinden uzaklaştırır (ASHRAE,2000).

Tarihsel olarak, farklı tiplerde soğutma kuleleri kullanılmıştır. Ancak en yaygın olanı, suyun kuleye üst kısımdan girerek aşağı yönde aktığı ve hava akışının kulenin üstüne konumlanan fanlar aracılığıyla sağlandığı soğutma kuleleridir.

2.2.1. SOĞUTMA KULESİ ÇALIŞMA PRENSİBİ

Soğutma kulesi, suyun soğutulması için kullanılan bir sistemdir. Su, su dağıtım sistemi ve fıskiyeler aracılığıyla yukarıdan aşağıya doğru homojen bir şekilde dolgu malzemelerinin üzerine püskürtülür. Dolgu malzemeleri, suyun yüzey alanını artırarak suyun atmosfer havası ile daha uzun süre ısı alışverişi yapmasını sağlar. Atmosfer havası, fan yardımıyla dolgu malzemesinin altından yukarı doğru hareket ettirilir. Bu süreçte, atmosfer havası nem almak için bir miktar suyu buharlaştırır ve bu buharlaşma süreci suyun soğutulmasını sağlar (Gül,2012).

Soğutma kulesine giren sıcak su, soğutulduktan sonra havuzlarda toplanır. Atmosfer havası ise nemli bir şekilde kulenin üstündeki fan aracılığıyla bacadan atmosfere transfer edilir. Buharlaşan su transfer olan havanın üzerine nem olarak dahil olur bundan dolayı havanın nem değeri artar. Teorik olarak su sıcaklığı minimum atmosferik havanın yaş termometre sıcaklığına kadar soğutulabilir. Fakat pratikte su sıcaklığı, atmosfer havasının yaş termometre sıcaklığının 4-5 °C üzerindeki sıcaklık değerine kadar soğutulabilir.

Soğutma kulesinde suyun soğutulması sürecinde ısı ve kütle transferi gerçekleşir. Her bir gram suyun buharlaşabilmesi için yaklaşık 540 kalori enerji gereklidir. Bu nedenle, soğutulmak istenen suyun her 6 °C soğuması için toplam su debisinin yaklaşık %1'inin buharlaşması gerekmektedir.

Soğutma kulesinde atmosfer havasının aldığı enerji miktarı, suyun buharlaşmak için ortama verdiği enerji miktarıyla eşittir. Bu denklik, soğutma kulesindeki ısı transferinin temelini oluşturur. Su kaybı ise buharlaşma ve damlacık şeklinde sıvı kaybıyla gerçekleşir. Soğutma kulesindeki su miktarının yaklaşık %1-3'ü buharlaşır.

Soğutma kulesinin ısı performansı, giren havanın yaş termometre sıcaklığıyla ilişkilidir. Giren atmosfer havasının bağıl nemi ve kuru termometre sıcaklığı, su buharlaşma oranını etkiler.

2.2.2. SOĞUTMA KULESİNDE KULLANILAN EKİPMANLAR

Soğutma kulelerinde genellikle kullanılan ekipmanlar arasında su dağıtım sistemi, damla tutucular, dolgu malzemesi, soğuk su toplama havuzu, hava giriş panjuru, dış kaplama ve taşıyıcı yapı, fan, pompa ve elektrik motoru bulunur.



Su dağıtım sistemi, soğutulmak istenen suyun dolgu malzemesinin üzerine homojen bir şekilde püskürtülmesi için kullanılan mekanik bir sistemdir. Su dağıtım sistemi, ana ve ara dağıtım boruları, spreyleme nozulları ve vanalardan oluşur. Bu sistem, suyun dolgu malzemesi üzerinde eşit bir şekilde dağılmasını sağlar ve soğutma verimliliğini artırır.

Damla tutucular, suyun dolgu malzemesinden geçerken damlacıkların büyük bir kısmını yakalar ve havaya atılmasını engeller. Bu, suyun kaybını azaltır ve suyun dolgu malzemesi üzerinde daha uzun süre kalmasını sağlar, böylece daha fazla ısı transferi gerçekleşir (Black & Veatch, 1996).

Dolgu malzemesi, soğutma kulelerinde ısı ve kütle transferinin yüksek miktarda gerçekleştiği bölümdür. Dolgu malzemesi üzerinde su ve hava için ayrı yollar bulunur ve bu yollar aracılığıyla ısı transferi gerçekleşir. Dolgu malzemeleri, suyun soğutulmasını sağlamak için su ve hava arasındaki temas yüzey alanını ve süresini artırır (Black & Veatch, 1996).

Dolgu malzemeleri, genellikle plastik veya metal malzemelerden yapılır ve farklı tipleri bulunur. Her bir dolgu malzemesi, belirli bir uygulama veya gereksinime göre seçilir.

Soğuk su toplama havuzu, soğutma kulesinden geçen soğuk suyu toplar ve daha sonra kullanım için depolar.

Hava giriş panjuru, soğutma kulesine hava girişini sağlar ve hava akışını yönlendirir. Dış kaplama

ve taşıyıcı yapı, soğutma kulesinin dışını korur ve taşıyıcı bir yapı sağlar.

Fan, Soğutma kulelerinde fanlar, hava akımını sağlamak için kullanılan ekipmanlardır. Endüstride, aksiyel fanların soğutma kulelerinde daha yaygın olarak kullanıldığı söylenebilir. Bu fanlar, elektrik motorundan aldıkları güçle hava akımını oluştururlar.

Soğutma kulelerinde kullanılan fanlar, kule dizaynında belirlenmiş olan hava debisini sağlayabilecek ve kule üzerinden geçerken oluşan dirençlerini yenebilecek düzeyde basıncı sağlayabilecek şekilde seçilmelidir.

Ayrıca, soğutma kulelerinden atmosfere transfer edilen hava sıcak ve nemli olduğundan, fanlarda korozyona dayanıklı malzemelerin kullanılması önemlidir. Bu, fanların uzun ömürlü olmasını ve performanslarını korumasını sağlar.

Genellikle, kule fanları kanatları ayarlanabilir olarak seçilir. Bu sayede, fan kanat açıları mevsim koşullarına göre manuel olarak değiştirilebilir veya otomatik açı ayarlayan sistemler kullanılabilir. Örneğin, kış aylarında suyun soğutma ihtiyacı daha az olduğundan, fan kanat açıları işletme şartlarına göre azaltılabilir (Cooling Tower Institute, 2011).

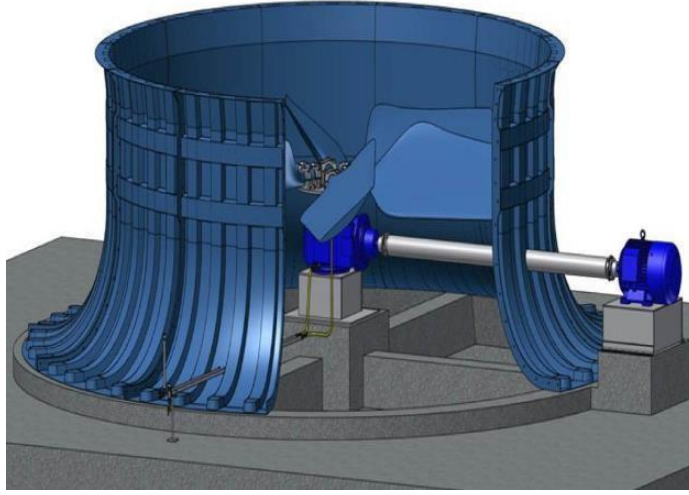
Soğutma kulelerinde kullanılan aksiyel fanlar, genellikle kanat, göbek ve bağlantı elemanları gibi bölümlerden oluşur.

Fan kanatları, havayı transfer eden ana bölümdür. Kanatlar, fanın dönmesiyle birlikte hava akımını oluşturur ve soğutma işlemini gerçekleştirir.

Göbek, fan kanatlarının bağlandığı bölümdür. Kanatlar, göbeğe sabitlenir ve dönme hareketini göbek üzerinden alır.

Bağlantı elemanları, kanatlar ve göbeğin birbirlerine sağlam bir şekilde bağlanmasını sağlar. Bu, fanın çalışma esnasında açısının değişmemesini ve istikrarlı bir şekilde dönmesini sağlar (Zengin, 2019).

Bu bölümler, soğutma kulelerinde fanların etkin ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için önemlidir. Her bir bölümün doğru tasarlanması ve uygun malzemelerle üretilmesi, fanın performansını ve dayanıklılığını etkiler.



Şekil 2.1 Soğutma kulesi fanındaki elektrik ve mekanik ekipmanlar (Zengin, 2019)

Pompa, Açık çevrim soğutma kulelerinde, pompalar, kulede soğutulan suyu soğuk su toplama havuzundan işletmeye taşımak için kullanılır. Bu pompalar, soğutma kulesinin altında bulunan su toplama havuzundan suyu işletmeye iletmek amacıyla kullanılır. Bu şekilde, soğutulan su işletmede kullanılmak üzere hazır hale getirilir.

Kapalı çevrim soğutma kulelerinde ise, pompalar, soğutulmak istenen suyu serpantinlere taşımak için kullanılır. Bu pompalar, suyu serpantinlere basarak transfer eder ve serpantinlerdeki sıcaklığı düşürerek soğutma işlemini gerçekleştirir. Bu şekilde, kapalı devre sisteminde dolaşan su, serpantinlerde soğutulur ve tekrar pompalar aracılığıyla dolaşıma sokulur.

Soğutma kulelerinde, elektrik motorları fanların ve pompaların dönmesini sağlamak için kullanılır. Genellikle üç fazlı asenkron motorlar soğutma kulelerindeki fanlar ve pompalar için tercih edilir. Bu motorlar, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürerek fanları ve pompaları çalıştırır (Bodur, 2016).

İşletmelerde soğutma ihtiyacının değişkenlik gösterdiği durumlarda, elektrik motorlarınınin değişken hız sürücüsüyle kontrol edilmesi önerilen bir uygulamadır. Bu, enerji verimliliği açısından önemlidir çünkü motorun hızı ihtiyaca göre ayarlanabilir ve gereksiz enerji tüketimi önlenir.

2.3. AKSİYEL FAN

Fanlar, havayı hareket ettirmek için sistem direnci olarak adlandırılan basınç kaybını aşmak zorundadır. Kule fanlarında genellikle alüminyum, termoplastik ve cam elyaf takviyeli polyester (GRP) gibi malzemeler kullanılır. Ancak, gelişen teknolojiyle birlikte E-cam elyaf takviyeli epoksi aksiyel fan kanatları gibi daha iyi bir alternatif geliştirilmiştir.

E-cam elyaf takviyeli epoksi aksiyel fan kanatları, aerodinamik kanat yapısı tasarımı sayesinde hava akışına daha az direnç gösterir. Bu özellikleri sayesinde değişken debiyi karşılamak için soğutma kulelerinde kullanılabilir. Ayrıca, %81-90 verim aralığında çalışabilir ve uzun yıllar boyunca etkinliğini kaybetmeden görev yapabilir (Encon Group, 2019).



Şekil 2.2 E-cam elyaf takviyeli epoksi aksiyel fan kanatları görünümü (Encon Group, 2019)

E-cam elyaf takviyeli epoksi fan kanatları, yüksek dereceli epoksi reçine ve fiber glass kombinasyonu kullanılarak üretilir. Bu malzeme kombinasyonu optimum mukavemet, sağlamlık ve dayanıklılık özellikleri sağlar. Ayrıca, dış ortam koşullarına ve ultraviyole bozunmalara karşı direnç gösterir.

Bu fan kanatları antikorozyon epoksi boya ile boyanır ve hücum kenarında ekstra kaplama ile aşınmayı önlemek için koruma sağlanır. Bu sayede, fan kanatları aşınmalara ve korozyonlara karşı dayanıklı olur ve daha uzun ömürlüdür. Ayrıca, epoksi boyanın uygulanması ve ekstra kaplamanın yapılması yüzey sürtünmelerini azaltır ve bu da soğutma kulelerinin ses seviyesini azaltır.

Soğutma kulelerinde kullanılan FRP fan kanatlarında metal parçalar, gözenek ve hava boşluğu olmaması kulelerin verimli çalışmasına yardımcı olmaktadır. FRP malzeme, alüminyuma göre daha kolay şekil verilebilir ve aerodinamik bir forma sokulabilir. Ayrıca, FRP fan kanatlarının kullanıldığı nemli ortamlarda korozyon etkilerine karşı daha dayanıklıdır ve uzun yıllar yüksek verimle çalışabilir.

Sonuç olarak, E-cam elyaf takviyeli epoksi fan kanatları ve FRP fan kanatları, soğutma kulelerinin verimliliğini artırmak, aşınma ve korozyonu önlemek, düşük bakım maliyetleri sağlamak ve daha uzun ömürlü olmak için tercih edilen malzemelerdir.

2.3.1. SOĞUTMA KULESİ AKSİYEL FANLARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

E-cam elyaf takviyeli epoksi kanatlı aksiyel soğutma kulesi fanları için, fan kanatlarının doğru çalışma aralığını belirlemek için dinamik balans, statik balans ve yüklenme testleri yapılır. Bu testler, fan kanatlarının dengeli ve güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için önemlidir.

Dinamik balans testi, fan kanatlarının dönme hızında titreşimleri minimize etmek için yapılan bir testtir. Bu test, fan kanatlarının dengeli bir şekilde çalışmasını sağlamak ve titreşimlerin neden olduğu aşınma veya hasarı önlemek amacıyla yapılır.

Statik balans testi ise fan kanatlarının durağan durumda dengeli olup olmadığını kontrol etmek için yapılır. Bu test, fan kanatlarının dengeli bir şekilde monte edildiğinden emin olmak için yapılır ve fanın çalışma sırasında titreşim yapmasını önler.

Yüklenme testi ise fan kanatlarının sabit veya değişken yük etkilerine dayanabilecek şekilde tasarlandığını doğrulamak için yapılır. Bu test, fan kanatlarının belirli yük koşullarında nasıl davrandığını ve performansını değerlendirmek için yapılır.

Bu testler, fan kanatlarının güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için önemlidir. Fan kanatları, bu testlerden geçtikten sonra çalışma aralıkları belirlenir ve soğutma kulesinde kullanılmaya uygun hale gelir (Encon Group, 2019).

Soğutma kulelerinde alüminyum ve GRP fan kanatları sıklıkla kullanılmaktadır. E-cam elyaf takviyeli epoksi kanatlı aksiyel soğutma kulesi fanları ile alüminyum / GRP fan kanatlarının karşılaştırılması Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 E-cam elyaf takviyeli epoksi kanatlı aksiyel soğutma kulesi fanları ile alüminyum / GRP fan kanatlarının karşılaştırılması (Encon Group, 2019)

Özellik	E-Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Kanatlı Aksiyel Fanlar	Alüminyum / GRP Fanlar
Verimlilik	%81-90	%56-65
Materyal	Yüksek dereceli epoksi, FRP ile laminasyon	Alüminyum döküm
Dizayn	Aerodinamik yüksek profil	Geleneksel tip
Yüklenme Durumu	Dişli kutusuna düşük aksiyel baskı	Dişli kutusuna yüksek aksiyel baskı
Kanat	İçi boş kanatlar (düşük ağırlık)	Çoğunlukla içi dolu kanat (yüksek ağırlık)
Dayanıklılık	10 yıldan uzun ömürlü	2-3 yıl sonra etkinliğin azalmaya başlaması

Yüzey Sürtünmesi	İhmal edilebilir sürtünme kayıpları	Yüzey pürüzlülüğü sebebiyle yüksek sürtünme kayıpları
Hücum Kenarı Koruması	Epoksi reçine ile güçlendirilmiş	-
Bozulmalara Karşı Direnç	Mukavemeti, yorulma, kimyasal ve ısı dayanımı yüksek (Yüksek seviye)	Yüksek seviye
Fan Kanatlarının Bakımı ve Değişirilmesi	Kolay değişim ve bakım imkanı	-

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. SOĞUTMA KULESİ FAN ÖLÇÜMLERİ

Bu çalışmada, kimya sektöründe bulunan alüminyum kanatlı soğutma kulesi fanlarının E-cam elyaf takviyeli epoksi kanatlı aksenal soğutma kulesi fanlarıyla değiştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Fanların değiştirilmeden önce elektriksel ve mekanik ölçümler yapılmış ve ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

Elektriksel ölçümler kapsamında, soğutma kulesi fanlarının elektrik besleme panolarına kalibrasyonlu enerji analizörü montajı yapılarak fanların aktif güç değerleri ölçülmüştür. Bu ölçümler, fanların mevcut enerji tüketimini belirlemek ve potansiyel enerji tasarrufu sağlayacak yeni fanların performansını değerlendirmek amacıyla yapılmıştır.

Mekanik ölçümler ise fanların mekanik özelliklerini değerlendirmek için yapılmıştır. Bu ölçümler, ortalama hava hızı, rüzgar hızı, atmosferik hava sıcaklığı ve atmosferik bağıl nem gibi parametreleri içermektedir. Bu veriler, fanların mevcut durumunu ve potansiyel yeni fanların performansını karşılaştırmak için kullanılmıştır.

Bu ölçümler ve değerlendirmeler, alüminyum kanatlı fanların E-cam elyaf takviyeli epoksi kanatlı fanlarla değiştirilmesinin enerji tasarrufu sağlayıp sağlamayacağını ve fanların performansını nasıl etkileyeceğini belirlemek amacıyla yapılmıştır.



Şekil 3.1 Soğutma kulesi fanlarında aktif güç ve hava hızı ölçümü (URL-1)

Mekanik ölçümler kapsamında, soğutma kulesi fanlarındaki havanın çizgisel hızı pervane hız probu (anemometre)



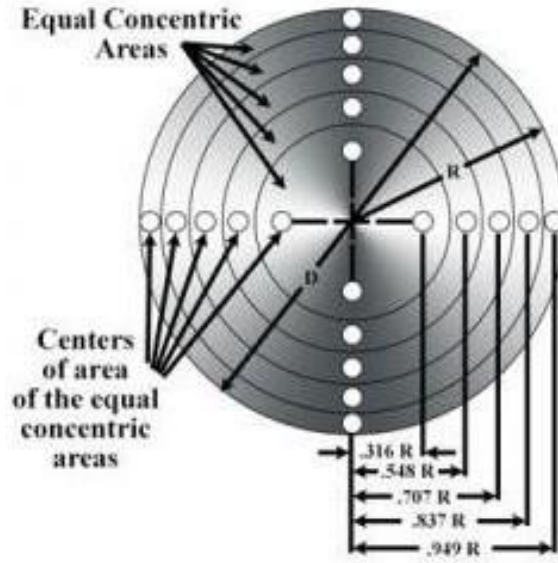
tmmob
makina mühendisleri odası

kullanılarak ölçülmüştür. Bu ölçümler, “Cooling Technology Institute'nin Field Test of Fan Performance” standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Bu standarda göre, fandaki hava akış yüzeyi teorik olarak 4 farklı yarıçapa bölünmüş ve her yarıçapta 5 farklı noktada çizgisel hız ölçümleri yapılmıştır. Bu noktalar, yarıçap 5 eşit alana bölünerek, belirlenen her bir alanın orta noktası olacak şekilde yerleştirilmiştir. Her noktada yapılan çizgisel hız ölçümlerinin ortalaması alınarak, fandaki havanın çizgisel hızı belirlenmiştir.

Bu yöntem, fanın performansını değerlendirmek ve hava akışının homojenliğini kontrol etmek için kullanılan bir standart ölçüm yöntemidir. Çizgisel hız değerlerinin ortalaması, fanın genel performansını yansıtan bir ölçüdür ve fanın verimliliği hakkında bilgi sağlar.

Soğutma kulelerindeki fan kanatları E-cam elyaf takviyeli epoksi fan kanatlarıyla değiştirildikten sonra, fan açıları işletmenin soğutma ihtiyacını karşılayacak şekilde ayarlanmış ve aynı ölçümler tekrarlanmıştır. Bu ölçümler sonucunda, uygulama öncesinde kullanılan fanların debi ve aktif güç değerleri ile uygulama sonrasında kullanılan E-cam elyaf takviyeli epoksi fanların debi ve aktif güç değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.2 CTI 105'e göre ölçüm noktalarının belirlenmesi (URL-3)

Gerçekleştirilen ölçümler kapsamında hava hızı ve aktif güç ölçümlerinin yanı sıra rüzgar hızı , atmosferik havanın bağıl nemi ve sıcaklıkları ölçülmüştür.

Soğutma kule fanlarındaki hava hızı ölçüm doğruluğunun olumsuz etkilenmemesi için ortalama rüzgar hızı değerinin 2,24 m/s' nin altında olması gerekmektedir. (CTI 105)

4. ANALİZ VE HESAPLAMALAR

Kimya sektöründe faaliyetini sürdüren bir işletmede fan kanadının E-cam elyaf takviyeli epoksi fan kanatlarıyla değiştirilmesi projesi uygulanmıştır. Uygulama sonrasında kule fanlarının elektrik motorları ve fan bacaları değiştirilmemiş, kullanılmaya devam edilmiştir. Kimya sektöründeki işletmede bulunan soğutma kulesi fan kanatlarının E-cam elyaf takviyeli epoksi fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufu yüzdesel olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.1 Uygulama yapılacak fan kanatlarının önce ve sonrası

	ÖNCE	SONRA
Uygulama	Soğutma Kulesi	Soğutma Kulesi
Malzeme	Alüminyum	FRP EPOXY
Fan Çapı	9144 mm	9144 mm
Kanat Açısı	9 Derece	12 Derece
Kanat Sayısı	7 Kanat	8 Kanat
Fan RPM	125 RPM	125 RPM

Tablo 4.2 Uygulama yapılacak fan kanatlarının CTI formatına göre hava akış detayları

	Alüminyum Fan	FRP EPOXY Fan
Tahrik sistemi	Motor ve redüktör	Motor ve redüktör
Ring Çapı	9500 mm	9500 mm
Göbek Çapı	2000 mm	1200 mm
Havanın geçtiği kesit alanı	67,71 m ²	69,72 m ²

Tablo 4.3 Alüminyum kanatlı fanda 19.10.2022 tarihinde gerçekleştirilen elektriksel ve mekanik ölçümler

Frekans (Hz)	Hava Hızı (m/s)	Hava Debisi (m ³ /s)	Aktif Güç (kW)	Bağıl Nem	Sıcaklık (°C)	Rüzgar Hızı (m/s)
50	6,89	466,52	129,07	27%	22	0,76
45	6,11	413,71	115,57			
40	5,42	366,99	101,23			
35	4,97	336,52	90,08			

Tablo 4.4. Alüminyum kanatlı fanda 20.10.2022 tarihinde gerçekleştirilen elektriksel ve mekanik ölçümler

Frekans (Hz)	Hız (m/s)	Debi (m ³ /s)	Aktif Güç (kW)	Bağıl Nem	Sıcaklık (°C)	Rüzgar Hızı (m/s)
50	6,73	455,69	132,62	32%	13	1,2
45	6,12	414,39	119,41			
40	5,45	369,02	103,33			
35	4,77	322,98	91,11			

Tablo 4.5 E-Cam Epoksi FRP kanatlı fanda 24.10.2022 tarihinde gerçekleştirilen elektriksel ve mekanik ölçümler

Frekans (Hz)	Hız (m/s)	Debi (m ³ /s)	Aktif Güç (kW)	Bağıl Nem	Sıcaklık (°C)	Rüzgar Hızı (m/s)
50	6,72	468,52	99,25	37%	11	2,21
45	5,98	416,93	89,78			
40	5,27	367,42	82,16			
35	4,85	338,14	72,75			

Tablo 4.6 E-Cam Epoksi FRP kanatlı fanda 25.10.2022 tarihinde gerçekleştirilen elektriksel ve mekanik ölçümler

Frekans (Hz)	Hız (m/s)	Debi (m ³ /s)	Aktif Güç (kW)	Bağıl Nem	Sıcaklık (°C)	Rüzgar Hızı (m/s)
50	7	488,04	97,81	24%	20	1,48
45	5,91	412,05	89,42			
40	5,48	382,07	80			
35	4,67	325,59	71,8			

Tablo 4.4 Fan kanat değişimi uygulama sonrası debi değişimine ait karşılaştırma

HZ	Alüminyum Ortalama Debi (m ³ /s)	FRP EPOXY Ortalama Debi (m ³ /s)	Hava Debisindeki Artış Oranı (%)
50	461,11	478,28	3,72%
45	414,05	414,49	0,11%
40	368,01	374,75	1,83%
35	329,75	331,87	0,64%

Tablo 4.5 Fan kanat değişimi uygulama sonrası aktif güç karşılaştırma

HZ	Alüminyum Ortalama Aktif Güç (kW)	FRP EPOXY Ortalama Aktif Güç (kW)	Aktif Güçteki Düşüş Oranı (%)
50	130,85	98,53	24,70%
45	117,49	89,6	23,74%
40	102,28	81,08	20,73%
35	90,6	72,28	20,22%



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sanayide demir-çelik, kimya, petrokimya, enerji üretimi, cam, otomotiv gibi birçok sektörde soğutma ihtiyacı bulunmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için en yaygın kullanılan ekipmanlar soğutma kuleleridir. Soğutma kuleleri, enerji verimliliği çalışmalarında önceliklendirilmesi gereken ekipmanlar arasında yer almaktadır.

Kimya sektöründe soğutma kulelerinde gerçekleştirilen enerji verimliliği projesi incelenmiştir. Soğutma kulelerinde enerji tüketen ekipmanlar genellikle fanlardır. Bu çalışmada, Kimya sektöründeki soğutma kulelerinde bulunan alüminyum fan kanatlarının daha verimli E-cam elyaf takviyeli epoksi fan kanatlarıyla değiştirilmesiyle sağlanan enerji tasarrufları incelenmiştir. Bu değişiklikle, soğutma kulelerinde ihtiyaç duyulan hava debilerinin yaklaşık %20-25 daha az enerji tüketilerek sağlandığı belirlenmiştir.

Enerji verimliliği uygulamalarıyla işletmelerin CO₂ salımları ve enerji maliyetleri azaltılmıştır.



tmmob
makina mühendisleri odası

6. KAYNAKÇA

ASHRAE, (2000). 2000 ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., Amerika Birleşik Devletleri.

Black & Veatch, (1996). Power Plant Engineering, Springer Science + Business Media, Inc. Amerika Birleşik Devletleri.

Bodur, F., (2016). Yüksek Verimli Elektrik Motoru Tasarımı, TMMOB EMO, İzmir. Cooling Tower

Institutue, (2011). Mechanical Components for Cooling Towers.

Encon Group, Cooling Tower Presentation, (2019).

Gül H., (2012). Ters Akımlı Soğutma Kulesi Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 341557.

Narin M., Akdemir S., (2006). Enerji Verimliliği ve Türkiye, *Uluslararası Ekonomi Konferansı-Türkiye Ekonomik Kurumu UEK-TEK*, Ankara, Türkiye, 11-13 Eylül 2006.

Rühl C. (2008). BP Statistical Review of World Energy, <http://www.britcham.com.br/download/260808rj.pdf/>

URL-1: <https://www.mitchellinstrument.com/fluke-1732-three-phase-energy-logger.html>.

URL-2: <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sektorlere-gore-toplam-enerji-tuketimi-i-85800>

URL-3: <https://blog.dwyer-inst.com/wp-content/uploads/2017/05/RoundEqualArea-300x279.jpg>

Zengin G., (2019). Endüstriyel Tip Islak Soğutma Kulelerinin Deneysel ve Teorik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 548444.