

HİDROJEN LOJİSTİĞİNE GENEL BAKIŞ VE TÜRKİYE'DEKİ DURUM

Ahmet Erdoğan¹, Ebru Geçici²,
Mehmet Güray Güler³

1. GİRİŞ

Dünyamızda yaygın olarak kullanılmakta olan başlıca enerji kaynakları kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtlar, hava kirliliği ve küresel ısınmaya neden olmaktadır. Buna ek olarak, nüfus artışı ve gelişen teknolojiye paralel olarak enerji tüketiminin de giderek arttığı gözlenmektedir ve var olan enerji kaynaklarının yeterli olmayacağı değerlendirilmektedir [1]. Hidrojen enerjisi, yukarıda belirtilen enerji kaynaklarına seçenek olarak sunulan bir enerji kaynağıdır. İkincil enerji kaynağı olan hidrojen enerjisi, rüzgâr, güneş, biokütle gibi çeşitli kaynaklardan buhar reformu, gazdan arındırma, elektroliz, foto proses, termokimyasal proses, radyoliz ve solar hidrojen gibi değişik

yöntemler kullanılarak üretilir [2, 3]. Enerji kaynakları ve üretim teknolojilerindeki bu çeşitliliğe ek olarak hidrojen enerjisi teknolojilerinin verimli olması, karbon ve diğer zararlı gazların salımını azaltması, birincil enerji arz güvenliğini iyileştirmesi ve petrol taşımacılığını azaltarak enerji güvenliğine katkı sağlaması gibi önemli üstünlükleri vardır [1, 3–7].

Hidrojen enerjisi; araçlar, ısıtma tesisleri, ev jeneratörleri ve büyük elektrik üretim sistemleri gibi pek çok alanda enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Hidrojen enerjisinin yaygın olarak kullanımını hızlandırmak için, üreticiden son kullanıcıya kadar ara depolama tesisleri kurulmalı ve hidrojen dolun istasyonları (HDİ) yoluyla kullanıcılara

¹ End. Müh., Kayseri Üni, Müh., Mim. ve Tasarım Fakültesi - ahmeterdogan@kayseri.edu.tr

² End. Müh., Yıldız Teknik Üni., Makine Fakültesi - egecici@yildiz.edu.tr

³ Prof. Dr., End. Müh., İstanbul Teknik Üni., İşletme Fakültesi - mguler@itu.edu.tr

iletilebilmelidir. Hidrojen lojistiğinin nasıl tasarlanıp işle-tileceği, başarılarının belirginleşmesinde kilit rol oynayacaktır [8]. Bu yazıda hidrojen lojistiğinin bileşenlerinden söz edilmekte, sonrasında ise Türkiye’de yapılan hidrojen lojistiği ile ilgili çalışmaların sonuçları aktarılmakta ve gelecekte yapılması gerekenler ile ilgili değerlendirmeler sunulmaktadır.

2. HİDROJEN LOJİSTİĞİ BİLEŞENLERİ

Lojistik veya daha genel anlamıyla tedarik zinciri, ürün veya hizmetlerin; depolama, taşıma, dağıtım ve envanter yönetimi gibi fiziksel akışının planlanması, uygulanması ve kontrol edilmesi sürecidir. Lojistik, ürünlerin ve hizmetlerin tedarikinden başlayarak, depolanmasından, taşınmasına ve müşteriye teslimine kadar olan süreçlerin yönetimini içerir. Hidrojen lojistiğinin, hidrojen ekonomisinin gelişmesi ve hidrojenin daha geniş çapta kullanılabilmesi için önemli bir rolü vardır. Bu nedenle sürdürülebilir enerjiye geçiş ve karbon salınımı azaltma çabaları kapsamında, hidrojen lojistiği önemli bir araştırma ve geliştirme alanı haline gelmiştir.

Hidrojen lojistiğinin süreçleri ve bileşenleri, hidrojenin son kullanım alanına göre farklılıklar gösterebilmektedir. Bu bölümde hidrojenin öncelikle son kullanıcılardan bahsedilecek, daha sonra hidrojen üretimi, taşınması, depolanması ve HDİ ile ilgili bilgiler verilecektir.

2.1 Son Kullanıcı

Hidrojen, günümüzde kimyasal ürün ve ara petrol ürünleri üretiminde büyük miktarda kullanılmaktadır. Hidrojen üretiminin yaklaşık olarak %55’i amonyak, %10’u metanol üretimi için ve %25’i petrol rafinerilerinde kullanılmaktadır [9]. Ayrıca yoğun fosil yakıt kullanımında ilk sıralarda olan ulaşım endüstrisinin sürdürülebilir geleceği için de hidrojen önemli seçenekler arasındadır [10]. Hidrojen yakıt hücreli araçlara (HYHA) trenler, otobüsler ve binek otomobiller örnek verilebilir. Toplu taşımanın önemli bir parçası olan otobüsler, hidrojen için en kapsamlı şekilde test edilen uygulama alanıdır.

Gelecekte hidrojenin doğalgaz ile karıştırılarak kullanılması da düşünülmektedir. Örneğin, Ishaq ve Dinçer yapmış oldukları çalışmada doğalgaza, sıfırdan %20’ye olacak şekilde kademeli olarak hidrojen gazını eklemişler ve yanma ünitesi verimliliğinin arttığını gözlemlemiştir [11]. Benzer bir çalışma Öztürk ve Dinçer tarafından

yapılmış ve enerjideki verimliliğe ek olarak CO₂ salınımının azalmasına vurgu yapmışlardır [12]. Öztürk ve Dinçer yapmış oldukları bir başka çalışmada ise sentez gazı bileşimine daha fazla hidrojen katılabildiğini, bileşimin daha yüksek oksijen çıkış hızına ve daha düşük karbon dioksit, buhar ve ısı salım oranlarına ulaştığını göstermişlerdir [13].

Hidrojen enerjisinin evlerde kullanımına yönelik artarak devam eden çalışmalardan bir diğerinde ise Sorgulu ve arkadaşları, bu karışımın evsel cihazlarda kullanımını deneysel ve teorik olarak incelemiştir [14]. Bu alanda yapılan çalışmalar [15-18] ile birlikte hidrojen enerjisinin günlük kullanımına uyumu sağlanarak yeşil ve sürdürülebilir enerji yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır. Ayrıca, ABD’de yapılan araştırmaya göre boru hattı altyapısına zarar vermeden, hacim olarak %5-15 oranında doğalgaz borularına hidrojen verilebildiği belirtilmiştir [9].

2.2 Üretim

Birincil enerji kaynakları, farklı üretim tesislerinde hidrojen enerjisine dönüştürülür. Tablo 1, birincil enerji kaynaklarını ve hidrojen enerjisi üretmek için gerekli olan üretim teknolojilerini göstermektedir [19]. Günümüzde ise hidrojen sülfat ve doğalgaz gibi kaynakların hidrojen ekonomisinde kullanılması da giderek artan çalışmalar arasındadır. Bu kapsamda Öztürk ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada hidrojen üretimi için Karadeniz’de kaynakları bulunan hidrojen sülfat ve doğalgazın etkilerini incelemiştir [20]. Şükran ve Aydın da Karadeniz’in hidrojen sülfat zenginliğinin hidrojen için kullanılabilceğini vurgulayarak üretim için tesis yeri belirlemişlerdir [7].

Ayrıca AR-GE aşamasında olan atık petrolün buharlı reformasyonu, fermantasyon ve foto-fermantasyon gibi birçok üretim yöntemi vardır. Ancak günümüzde maliyet açısından en etkin ve en önemli üretim yöntemi, doğalgaz kullanılarak yapılan buhar metan reformu yöntemidir [9, 21].

Tablo 1. Üretim Teknolojileri

Birincil Enerji Kaynakları	Üretim Tesisleri
Doğal Gaz	Buhar Metan Reformu
Kömür	Kömür Gazlaştırma
Biyokütle	Biyokütle Gazlaştırma
Elektrik	Elektroliz

2.3 Taşıma

Hidrojeni üretim tesislerinden depolama alanlarına taşımak için karayolu (kamyon gibi), demiryolu (vagon tanklar gibi) ve boru hatları gibi taşıma yöntemleri kullanılabilir [22]. Her taşıma seçeneğinin kapasite, teslimat uzaklığı, akış miktarları ve maliyetler (kurulum ve işletme) açısından kendine özgü özellikleri, üstünlükleri ve olumsuz yönleri vardır. Demiryolu tankları ile taşımada geniş bir depolama alanına gerek duyulur fakat bakım maliyeti düşüktür; daha az yakıt tüketildiğinden, yakıt maliyeti ve genel maliyet düşer. Kamyonlar ise daha hızlıdır ve yüklemeye ile boşaltma süreleri daha kısadır [21].

2.4 Depolama

Hidrojen, depolama sahalarına teslim edilen fiziksel formuna (sıvı veya gaz) uygun olarak depolanmalıdır. Günümüzde çeşitli depolama teknolojileri bulunmaktadır. Kriyojenik depolama ve sıkıştırılmış gaz depolaması, ticari önemi bulunan bu teknolojilere örnek olarak verilebilir. Her depolama teknolojisinin alt ve üst kapasite sınırlarının yanı sıra, farklı sermaye ve birim depolama maliyetleri vardır [22]. Ek olarak, absorban, sıvı organik ve kimyasal hidrojen gibi çok sayıda yeni hidrojen depolama teknolojisi de araştırılmaktadır [9].

2.5 Dolu İstasyonu

Elektrikli ve hidrojenli araçların piyasada satışı incelendiğinde, elektrikli araçların hidrojenli araçlardan daha fazla satıldığı gözlemlenir. Ancak, hidrojenli araçların, daha uzaklara gidebilme ve ağır iş makinelerinde kullanılabilirlik gibi üstünlükleri vardır. Özellikle trenler ve feribotlar gibi taşıtlarda daha kullanışlıdır. Araç kullanıcıları için önemli bir özellik olan yakıt doldurma/şarj etme süresi, hidrojenli araçlarda elektrikli araçlara göre çok daha kısadır. Elektrikli araçların bataryalarının %80'ini doldurmak için saatler gerekebilirken, hidrojen yakıtı 3-5 dakikada doldurulabilir [9]. HYHA'lara ilişkin yukarıda belirtilen üstünlükler de göz önüne alındığında araştırmacılar, araç firmaları ve hükümetler HYHA'ların yaygınlaştırılması için çalışmalar yapmaktadır. Ev, iş ya da herhangi bir farklı yerden doldurulabilen elektrikli araç bataryalarından farklı olarak HYHA'ların hidrojen yakıtlarını alabilmeleri için hidrojen dolmu istasyonlarının kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle 2024 yılı itibarıyla, dünya genelinde kullanılan 900'den fazla HDİ'ye ek olarak hidrojenli araçların yaygınlaşabilmesi için gerekli

en önemli etkenlerden biri bu istasyonların çoğalmasdır [23, 24].

HDİ'lerin tasarımı, hidrojenin sağlanmasına (tesis içi ve tesis dışı istasyonlar) ve termodinamik yapısına bağlı olarak (sıvı ve gaz hidrojen) değişir [25]. Buna karşın tüm dolmu istasyonlarında arıtma ünitesi [26], hidrojen kompresörü, soğutma ünitesi [27], depolama tankları, güçlendiriciler gibi birçok ortak bileşenin bulunması gerekir. Bu da önemli bir maliyet unsurudur.

2.6 Hidrojen Tedarik Zinciri

Tedarik zinciri, ürünün hammaddeden son kullanıcıya ulaşana kadar olan üretim, depolama, taşıma süreçlerini kapsayan bir ağ veya sistemdir. Her ne kadar lojistik ve tedarik zinciri kavramları sık sık birbirinin yerine kullanılsa da tedarik zinciri daha genel bir kavram olarak lojistiğe ek olarak istek yönetimi ve stok planlaması gibi unsurları da içerir.

Hidrojen tedarik zincirleri (HTZ) ise, hidrojenin hammaddeden başlayıp üretim ve depolama süreçlerinden geçerek son kullanıcıya ulaştığı zincirlerdir. Örneğin ulaşım sektöründeki HTZ ağı, hammaddeden başlayıp yakıt istasyonlarında hidrojen satışı ile sonlanan bir akışı gösterir [28]. Tedarik zinciri yönetimi, ürün ve bilgi akışlarını yönetmek için tasarım, planlama ve operasyonları içerir. HTZ tasarımı, üretim türlerini, tesisleri ve taşıma biçimlerini belirlemeyi amaçlar. Bu tür tasarım, tedarik zinciri yönetiminde kritik bir planlama sorunudur ve hidrojen altyapısının genişlemesi için kullanılır [21].

3. TÜRKİYE'DE HİDROJEN LOJİSTİĞİ

ABD, Fransa, Almanya, İngiltere ve Güney Kore gibi gelişmiş ülkelerde hidrojen üretimi ve depolaması ile ilgili deneysel ve teorik çalışmaların yanında, HTZ tasarımı veya HDİ yerlerinin belirlenmesi gibi stratejik kararlar üzerine yapılmış çalışmalar da bulunur [28–31]. Son yıllarda Türkiye için de benzer çalışmalar yapılmaya başlanmıştır [10, 21, 32–34]. Bu bölümde Türkiye için yapılan çalışmalardan bahsedilecektir.

3.1 Türkiye'nin Hidrojen Tedarik Zinciri Ağ Tasarımı

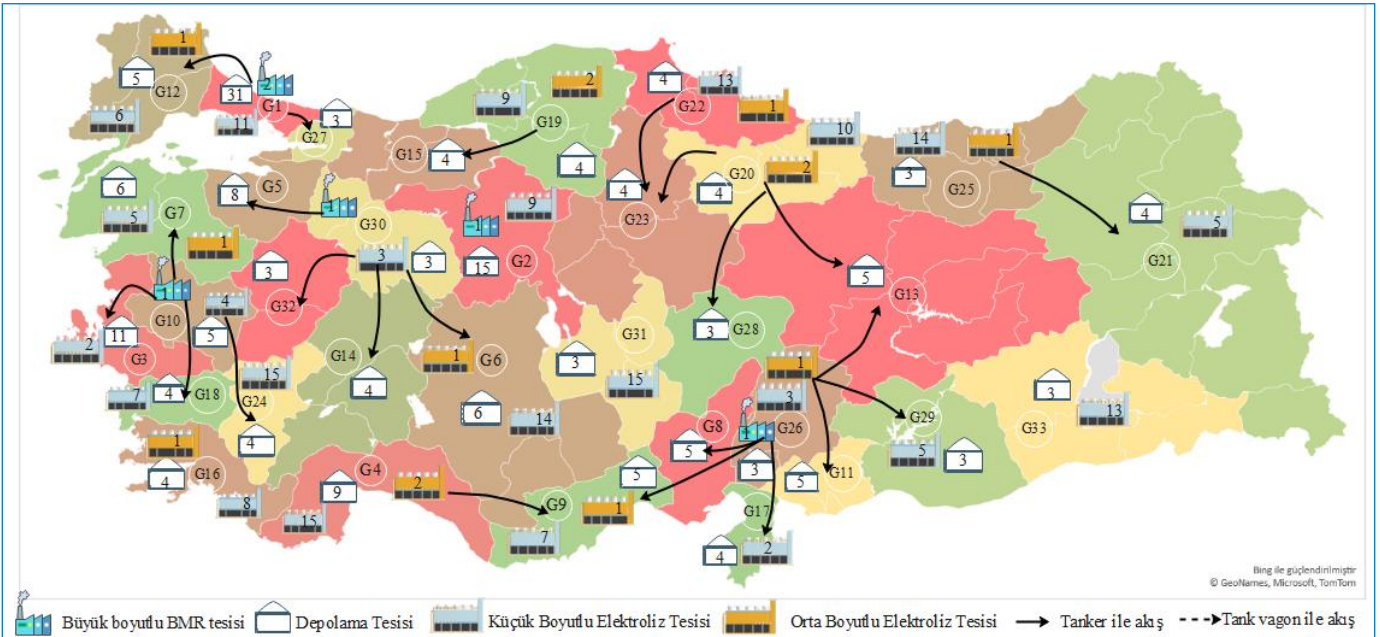
Türkiye'de HTZ tasarımı ilk olarak Güler ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [21]. Araştırmacılar 2021-2050 yılları arasındaki 30 yıllık zaman dilimini beş döneme ayırarak, her bir dönemde ulaşım sektöründen kaynaklanan enerji

gereksinimini karşılayacak bir HTZ tasarımı planlamıştır. Amaç, üretim ve depolama tesislerinin yeri, tipi ve büyüklüğü ve bunlar arasındaki taşıma sayısına ait maliyeti en aza indirmektir. Araştırmacılar, sonraki çalışmalarını maliyete ek olarak HTZ ağının CO₂ salınımını ve riskini de dikkate alacak şekilde genişletmiştir [32]. Çalışmada her bir dönemin kendine özgü bir ağ tasarımı ortaya çıkmıştır. İlk dönemde (2021-2026) hidrojen gereksinimi, 15 farklı bölgede kurulan 15 adet küçük ve altı adet orta ölçekli elektroliz üretim tesisi tarafından karşılanır. Bu ağ yapısında, bölgeler arasında kısa ve uzun nakliye bağlantılarının kurulduğu görülmüştür. Bu bağlantıların tamamı karayolu ile yapılır. Demiryolu bağlantısının kurulmamasının nedeni, Türkiye'nin demiryolu uzaklıklarının karayoluna göre genellikle daha uzun olması ve her bölge arasında demiryolu ağının bulunmamasıyla açıklanabilir. Ayrıca demiryolu ile taşıma aralıklarının karayoluna göre daha uzun olması, daha fazla taşıma riski anlamına gelir. İlk dönemlerde toplam hidrojen isteği sonraki dönemlere göre düşük olduğu için yalnız kendi gereksinimini karşılayan bölgeler olsa da, birçok bölgenin hidrojen gereksinimi kendisine yakın komşu üretim merkezlerinden karşılanmaktadır. Dolayısıyla ortaya çıkan HTZ yerelden çok merkezi bir yapıdadır. Bir başka deyişle, bazı merkezlerde kurulan tesislerde üretilen hidrojen diğer bölgelere dağıtılmaktadır. Sonraki dönemlerde artan HYHA'lar ve buna bağlı olarak oluşan hidrojen isteklerine uygun bir şekilde planlanan tesislerin son dönemdeki (2045-2050) ağ ta-

sarımı Şekil 1'de verilmiştir. Buna göre kurulan tesislerin yaklaşık olarak %60'ı Ankara'nın batısında bulunan bölgeyi kapsar. Bunun nedeni nüfusun büyük bir bölümünün ülkenin batısında yaşamasıdır. Son dönemlerde toplamda 23 farklı bölgede, altı adet büyük ölçekli BMR ve 19 küçük, 14 orta ölçekli elektroliz üretim tesisi kurulmuştur. Maliyet, CO₂ salınımı ve riskin en iyi duruma getirildiği, önerilen çözüm ile sadece maliyetin en iyi duruma geldiği, temel durumla karşılaştırıldığında ise, %35'lik maliyet artışına karşılık %50 oranında CO₂ salınımı ve %79 oranında risk seviyesinde düşüş olduğu gözlenmiştir.

3.2 Türkiye'de Hidrojen Dolum İstasyonları Yerlerinin Belirlenmesi

HYHA'ların yaygın bir şekilde kullanılabilmesinde hidrojene ulaşılabilirlik önem taşımaktadır. Bu nedenle, özellikle hidrojen teknolojisinin ilk aşamalarında HDİ yerlerinin en uygun şekilde belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda maliyet, müşterilerin HDİ'lere olan uzaklığı gibi farklı amaçların en iyilenmesi hedeflenerek HDİ'lerin kurulabilecekleri en uygun noktalar belirlenmeye çalışılır. Bu kapsamda Türkiye'de yapılan ilk çalışmalardan biri Geçici ve arkadaşlarının İstanbul için yaptığı çalışmadır [33]. İstanbul'daki 954 mahalle gereksinim noktası olarak, var olan 734 yakıt istasyonu ise olası HDİ için seçilebilecek tedarik noktaları olarak belirlenmiştir. Mahallelere ait ihtiyaçlar ilçeler arasındaki araç akışı ve teknoloji uyum modelleri kullanılarak hesaplanmış-



tır. Açılan tesisler konum bazlı incelendiğinde, nüfusun yoğunlaştığı İstanbul Boğazı'na yakın yerlerde açıldıkları, periyot bazında incelendiğinde ise açılan tesislerin şehir merkezinden başlayıp şehrin sınırlarına doğru ilerlediği gözlemlenmiştir.

İstanbul için yapılan bir diğer çalışma ise Gündüz ve arkadaşları tarafından tamamlanmıştır [34]. Araştırmacılar, hidrojen gereksiniminin bir kısmını karşılama üzerine bir model geliştirmiş ve az sayıda istasyon ile oldukça büyük bir oranda gereksinimin karşılanabileceğini, ancak tüm gereksinimin karşılanması durumunda sayının önemli ölçüde arttığını ortaya çıkarmıştır.

Erişkin ve Karataş [35] ise Geçici vd. [33] ve Gündüz vd. [34]'den farklı olarak İstanbul'un tamamı yerine yalnız Anadolu Yakasını analizlerine katarak 2021-2030 yılları arası için gerekli olan hidrojen yakıt depolama alanlarını belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda nüfus yoğunluklarına göre farklı kapasitesi olan HDİ'lerin kurulması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

İstanbul dışında yapılan tek çalışma ise Adana ili için Kuvvetli tarafından yapılmış ve maliyet, nüfus kapsama ve risk amaçlarının dikkate alındığı bu çalışmada 2020-2030 yılları arasında açılacak 77 HDİ yeri belirlenmiştir [36].

3.3 Türkiye'de Depo Yer Seçimleri

Türkiye'de hidrojen enerjisinin depolanması için farklı çalışmalar yapılmıştır. Özarlan, yapmış olduğu çalışmada hidrojen enerjisinin depolanması için büyük oranda yer altı gazı depolama yöntemleri ve tuz mağaralarının tasarım özelliklerini incelemiştir [37]. Taşkın ve arkadaşları ise Türkiye'de hidrojen enerjisi depolamada kullanabilecek tank, metal hibrit ve kimyasal depolama seçeneklerini değerlendirmiştir [38]. İlbahar ve arkadaşları ise Türkiye için en uygun hidrojen enerjisi depolama teknolojisini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, depo kapasitesinin en önemli ölçüt olduğunu ortaya koymuş, yanıt verme süresinin ise en az etkili ölçüt olduğunu belirtmişlerdir [39].

4. SONUÇ

Hidrojen, temiz enerji ve sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda önemli bir yer alma konusunda ilerlemektedir. Fosil yakıtların yerini alarak karbon salımını azaltma yeteneğine sahip olan hidrojen, gelişen teknolojilerle birlikte depolanması, taşınması ve kullanımı konusunda

yapılan çalışmalarla, gelecekte enerji sektöründe devrim yaratma olasılığı olan gelişim ve yeniliklere zemin hazırlamaktadır. Ancak, bunu gerçeğe dönüştürmek için daha fazla yatırım, araştırma ve iş birliği gerekmektedir. Dünyada yıllardır yapılan çalışmalar, ülkemizde de son yıllarda ivme kazanmış durumdadır.

Hidrojen, yalnız enerji sektöründe değil, endüstriyel süreçlerden taşımacılığa kadar geniş bir yelpazede fırsatlar sunmaktadır. Bu nedenle, ülkemizin de uluslararası toplumla birlikte çalışarak, sürdürülebilir bir geleceğe yönelik bu potansiyeli en üst düzeyde kullanmaya odaklanması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

1. **Acar, C., Dincer, I.** 2013. "Comparative Assessment Of Hydrogen Production Methods From Renewable And Non-Renewable Sources," vol. 39, no. 1, p.1-12.
2. **Yáñez, M., Ortiz, A., Brunaud, B., Grossmann, I. E., Ortiz, I.** 2018. "Contribution Of Upcycling Surplus Hydrogen To Design A Sustainable Supply Chain: The Case Study Of Northern Spain," Applied Energy, vol. 231, p.777-787.
3. **Dincer, I.** 2002. "Technical, Environmental And Exergetic Aspects Of Hydrogen Energy Systems," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 27, p. 265-285
4. **Almansoori, A., Shah, N.** 2006. "Design And Operation Of A Future Hydrogen Supply Chain: Snapshot Model," Chemical Engineering Research and Design, vol. 84, no. 6 A, 423-438.
5. **Won, W., Kwon, H., Han, J. H., Kim, J.** 2017. "Design And Operation Of Renewable Energy Sources Based Hydrogen Supply System: Technology Integration And Optimization," Renewable Energy, vol. 103, p.226-238.
6. **Seo, S. K., Yun, D. Y., Lee, C. J.** 2020. "Design And Optimization Of A Hydrogen Supply Chain Using A Centralized Storage Model," Applied Energy, vol. 262.
7. **Seker, S., Aydın, N.** 2020. "Hydrogen Production Facility Location Selection For Black Sea Using Entropy Based Topsis Under Ivpf Environment," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 45, no. 32, p. 15855-15868.
8. **Han, J. H., Ryu, J. H., Lee, I. B.** 2012. "Modeling The Operation Of Hydrogen Supply Networks Considering Facility Location," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 37, no. 6, p. 5328-5346.
9. **Dinçer, İ., Eroğlu, İ., Öztürk, M.** 2021. "Türkiye İçin Hidrojen Teknolojileri Yol Haritası," Hidrojen Teknolojileri Derneği, sayı 978-605-66381-9-0
10. **Erdoğan, A., Geçici, E., Güler, M. G.** 2022. "Design Of A Future Hydrogen Supply Chain: A Multi-Objective Model For Turkey," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 48 no. 31, p. 11775-11789
11. **Ishaq, H., Dincer, I.** 2020. "A Comprehensive Study On Using

New Hydrogen-Natural Gas And Ammonia-Natural Gas Blends For Better Performance," *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol. 81, no. 103362.

12. **Ozturk, M., Dincer, I.** 2020. "Development Of Renewable Energy System Integrated With Hydrogen And Natural Gas Subsystems For Cleaner Combustion, *Journal Of Natural Gas Science And Engineering*," vol. 83, no. 103583.
13. **Ozturk, M., Dincer, I.** 2021. "Development Of A Combined Flash And Binary Geothermal System Integrated With Hydrogen Production For Blending Into Natural Gas In Daily Applications," *Energy Conversion and Management*, vol. 227, no. 113501.
14. **Sorgulu C., Öztürk F., M., Javani, N., Dinçer, İ.** 2022. "Hidrojen ve Doğal Gaz Karışımının Evsel Cihazlarda Kullanımının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi," *Cihannüma Teknoloji Fen ve Mühendislik Bilimleri Akademik Dergisi*, cilt 1, sayı 1.
15. **Sorgulu, F., Dincer, I.** 2022. "Analysis And Techno-Economic Assessment Of Renewable Hydrogen Production And Blending Into Natural Gas For Better Sustainability," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 47, no. 46, p. 19977–19988.
16. **Ozturk, M., Dincer, I.** 2022. "System Development And Assessment For Green Hydrogen Generation And Blending With Natural Gas," *Energy*, vol. 261, no. 125233.
17. **Ozturk, M., Dincer, I.** 2023. "Environmental Impact Investigation Of Using Hydrogen Sulfide And Waste-Based Hydrogen In Blending With Black Sea Natural Gas," *SSRN Electronic Journal*, p.409-411.
18. **Ozturk, M., Sorgulu, F., Javani, N., Dincer, I.** 2024. "Experimental Investigation Of Various Burner Heads In Residential Gas Stoves Tested With Hydrogen And Natural Gas Blends," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 53, p. 1344–1349.
19. **Nunes, P., Oliveira, F., Hamacher, S., Almansoori, A.** 2015. "Design Of A Hydrogen Supply Chain With Uncertainty," *International Journal Of Hydrogen Energy*, vol. 40, no. 46, p. 16408–16418.
20. **Ozturk, M., Midilli, A., Dincer, I.** 2021. "Effective Use Of Hydrogen Sulfide And Natural Gas Resources Available In The Black Sea For Hydrogen Economy," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 46, no. 18, p. 10697–10707.
21. **Güler, M. G., Geçici, E., Erdoğan, A.** 2021. "Design Of A Future Hydrogen Supply Chain: A Multi Period Model For Turkey," *International Journal Of Hydrogen Energy*, vol. 46, no. 30, p. 16279–16298.
22. **Almansoori, A., Shah, N.** 2009. "Design And Operation Of A Future Hydrogen Supply Chain: Multi-Period Model," *International Journal Of Hydrogen Energy*, vol. 34, no. 19, 7883–7897.
23. **Apostolou, D., Xydis, G.** 2019. "A Literature Review On Hydrogen Refuelling Stations And Infrastructure. Current Status And Future Prospects," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 113, no. 109292.
24. "15th Annual assessment of H2stations.org by LBST". 2023. Another record addition of European hydrogen refuelling stations in 2022 European.
25. **Genovese, M., Fragiaco, P.** 2023. "Hydrogen Refueling Station: Overview Of The Technological Status And Research Enhancement," *Journal of Energy Storage*, vol. 61, no. 106758.
26. **Ohi J, Vandeborgh N, Voecks G.** 2016. "Hydrogen Fuel Quality Specifications For Polymer Electrolyte Fuel Cells In Road Vehicles," U.S. Department of Energy.
27. **De Miguel, N., Acosta, B., Baraldi, D., Melideo, R., Ortiz Ce-bolla, R., Moretto, P.** 2016. "The Role Of Initial Tank Temperature On Refuelling Of On-Board Hydrogen Tanks," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 41, no. 20, p. 8606–8615.
28. **Li, L., Manier, H., Manier, M. A.** 2019. "Hydrogen Supply Chain Network Design: An Optimization-Oriented Review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 342–360.
29. **Almansoori, A., Shah, N.** 2012. "Design And Operation Of A Stochastic Hydrogen Supply Chain Network Under Demand Uncertainty," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 5, p. 3965–3977.
30. **Sgarbossa, F., Arena, S., Tang, O., Peron, M.** 2023. "Renewable Hydrogen Supply Chains: A Planning Matrix And An Agenda For Future Research," *International Journal of Production Economics*, vol. 255, no. 108674.
31. **Seo, Y., Park, H., Lee, S., Kim, J., Han, S.** 2023. "Design Concepts Of Hydrogen Supply Chain To Bring Consumers Offshore Green Hydrogen," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 48, no. 40, p. 15126–15142.
32. **Erdoğan, A., Güler, M. G.** 2023. "Optimization And Analysis Of A Hydrogen Supply Chain In Terms Of Cost, Co2 Emissions, And Risk: The Case Of Turkey," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 48, no. 60, p. 22752–22765.
33. **Geçici, E., Güler, M. G., Bilgiç, T.** 2022. "Multi-Period Planning Of Hydrogen Refuelling Stations Using Flow Data: A Case Study For Istanbul," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 47, no. 95, p. 40138–40155.
34. **Gündüz, S. B., Geçici, E., Güler, M. G.** 2024. "Locating Hydrogen Fuel Stations: A Comparative Study For Istanbul," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 52, p. 1234–1246.
35. **Eriskin, L., Karatas, M.** 2023. "A Semi-Desirable Location And Sizing Model For Hydrogen Fuel Storage Areas: A Case Study For Istanbul," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 48, no. 34, p. 12796–12813. æ
36. **Kuvvetli, Y.** 2020. "Multi-Objective And Multi-Period Hydrogen Refueling Station Location Problem, *International Journal of Hydrogen Energy*," vol. 45, no. 55, p. 30845–30858.
37. **Ozarslan, A.** 2012. "Large-Scale Hydrogen Energy Storage In Salt Caverns," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 37, no. 19, p. 14265–14277.
38. **Gumus, A. T., Yesim Yayla, A., Çelik, E., Yildiz, A.** 2013. "A Combined Fuzzy-Ahp And Fuzzy-Gra Methodology For Hydrogen Energy Storage Method Selection In Turkey," *Energies* 2013, vol. 6, no. 6, p. 3017–3032.
39. **İlbarhar, E., Çolak, M., Karaşan, A., Kaya, İ.** 2022. "A Combined Methodology Based On Z-Fuzzy Numbers For Sustainability Assessment Of Hydrogen Energy Storage Systems," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 47, no. 34, 15528–15546.