

***Doğal Gaz
Sistemlerinde
Hidrojene Geçiř :
Avrupa Örneđi***

Temmuz 2020

GAZBİR-GAZMER Uluslararası İlişkiler Komisyonu

Yönetici Özeti

Paris İklim Antlaşması ile Avrupa'da sera gazı emisyonlarının düşürülmesine yönelik önlemlerin alınması, fosil yakıtların enerji üretimindeki yerinin azaltılması ve değişen tedarik dinamikleri nedeniyle hidrojenin ileride kritik bir rol oynayacağı beklenmektedir.

Hidrojen sadece karbondan arındırma vasıtası olmakla kalmayıp, enerji tedarikinin fazla olduğu zamanlarda yenilenebilir enerjiyi depolama ve aktarım aracı olarak kullanılabilir. Hidrojenin özellikle doğal gaz ile entegrasyonu büyük enerjilerin uzun mesafelere daha az maliyetlerle taşınmasına katkı sağlar.

Hidrojenin doğal gaz ağlarına enjekte edilmesi, sera gazı emisyonlarını azaltmasının yanında nihai kullanıcıların enerji talebinin karşılamaında daha çevreci alternatifler sunmaktadır. Bu alternatifin oluşması için doğal gaz endüstrisi, politika yapıcılar ve sivil toplum kuruluşları ile finans toplulukları gibi diğer kritik paydaşlar arasında uyumlu çaba harcanmasını gerekmektedir.

Avrupa'da 50'nin üzerinde tamamlanan ve yürütülmekte olan hidrojen enjekte projeleri ile, AB'nin doğal gaz ağlarında hidrojen kullanımını yaygınlaştırmaya yönelik teknik ve mevzuatsal altyapılar hazırlanırken, AB ülkelerinin 2030-2050 hidrojen yol haritalarında oluşturulmaya başlandı.

Avrupa'da olduğu gibi ülkemizde de gündemde olan hidrojen konusu T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Fatih Dönmez Bey'in, "Türkiye'de en geç 2021 sonunda dağıtım hatlarına ilk hidrojen girişinin olmasını hedefliyoruz. İlk başta bu deneysel ve çok az bir miktar olabilir." açıklaması ile doğal gaz sektöründe de hidrojen çalışmalarına hız verildi. Bu hedef doğrultusunda, Gazbir-Gazmer, Aksa Doğal Gaz, Enerya Doğal Gaz ve Yıldız Teknik Üniversitesi işbirliği ile EPDK'nın Ar- Ge projeleri kapsamında, Konya şehrinde Türkiye'nin ilk Power to Gas projesi 2020 yılının başında başlanmıştır ve çalışmalarına devam etmektedir.

Bu rapor kapsamında, Avrupa'daki doğal gaz sektörü ve paydaşlarının hidrojen enerjisine ekonomik, mevzuat ve uygulama noktasındaki bakış açıları araştırılmış ve Avrupa'daki doğal gaz sistemlerindeki hidrojen teknolojisindeki son gelişmeler ve projeler incelenmiştir.

İçindekiler

1. Giriş	2
2. Hidrojen Tedariği.....	3
2.1 Üretim.....	3
2.2 Taşımacılık – Depolama	3
2.3 Elektroliz Türü	4
3. Literatür	5
4. Doğal Gaz Altyapısı ile Uyumluluk.....	6
5. Eysel Cihazlar ile Uyumluluk	7
6. Avrupa’daki Projeler.....	9
7. Ekonomik Durum	12
8. Doğal Gaz Abonesinin Yaklaşımı	14
9. Mevzuatsal Durum	15
10. Avantajlar – Zorluklar	17
11. Doğal Gaz Sistemlerinde Hidrojen Teknolojisinin Geleceği	18
12. Değerlendirme	19
13. Kaynakça.....	20

1. Giriş

Paris İklim Antlaşması ile AB'nin 28 Üye Devleti, küresel ısınmanın "sanayileşme öncesi seviyelerin üzerinde olan 2 °C oldukça altında tutulması ve hatta sıcaklık artışının 1,5 dereceyle sınırlı tutulmasını hedeflemektedir. AB'nin bu hedefe ulaşmasında karbondan arındırma teknolojileri kritik rol oynamaktadır. Bu sebepten dolayı özellikle hidrojene ihtiyaç her zamankinden daha fazla olacaktır. Hidrojen ise sadece karbondan arındırma vasıtası olmakla kalmayıp, enerji depolama ve aktarım aracı olarak kullanılabilir. Böylece yenilenebilir güç üretiminin kapsamı artırılabilir.

Hidrojen (H₂) her türlü standart için tamamen bir benzersiz elementtir. Büyük Patlama sonrasında oluşan ilk ve en hafif atomik element olarak evrendeki tüm kütle tahminen %75'ini oluşturmaktadır ve tüm gazlı ve sıvı yakıtlar arasında kütle olarak en yüksek kimyasal enerji içeriğine sahiptir[1]. Dolayısıyla H₂'nin geleceğin enerji sisteminde belirgin bir rol oynayacağını düşünülmesi şaşırtıcı değildir.

Günümüzdeki enerji tüketiminin %3 kadarı hidrojen üretiminde kullanılmaktadır. Bu hidrojenin ise yalnızca %0,002'si, yani yılda yaklaşık 1.000 tonu enerji taşıyıcısı olarak kullanılmaktadır[2]. Özellikle elektriğin gaza dönüştürülmesinde kullanılmaya başlanan hidrojen son zamanlarda doğal gaz şebekesine entegre edilmesi konusu sıkça gündeme gelmektedir. Gaz hidrojenin birim kütle başına ısı değeri, doğal gazın birim kütle başına ısı değerinin yaklaşık 2.1 katıdır. Birim hacim başına ısı değeri olarak doğal gazın %30'u kadardır.

Elektriğin gaza dönüştürülmesi, karbondan arındırma ve enerji sistemlerinde artan esneklik konuları için temel bir ilgi alanı oluşturmaktadır çünkü tedarikin fazla olduğu zamanlarda yenilenebilir elektriğin emilmesini, talebin fazla olduğu zamanlarda ise yedek enerjinin sağlanmasını mümkün kılmaktadır.

Elektriğin gaza dönüştürülmesi işlemi ile doğal gaz şebekesine entegre edilmesiyle şebekenin yapısal hacim esnekliğinden faydalanmak ve elektrik değişkenliğinin bir kısmını gaz şebekesine aktarmak mümkün olabilmektedir. Dahası gaz şebekesine enjekte edilen gazın düşük karbonlu olması durumunda (ör., yenilenebilir elektriği gaza dönüştürme işleminden elde edilen hidrojen) gaz şebekesinden kaynaklanan gaz emisyonları azaltılabilmektedir[3].

Hidrojenin doğal gaz ile entegrasyonu, yoğun bir karbondan arındırmaya geçişi kolaylaştırabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca elektrik şebekesine kıyasla doğal gaz altyapısı, daha büyük hacimleri daha uzun mesafelerde daha az maliyetlerle taşıyabilmektedir. Avrupa'da karbondan arındırmayla ilgili çalışmaların çoğunda doğal gaz kullanımındaki azalma, gaz altyapısı ihtiyaçlarının sonradan azaldığını göstermektedir. Ancak yenilenebilir ve düşük karbonlu hidrojene geçişle diğer sürdürülebilir gazlar arasında bu tür varlıklar, Avrupa genelinde uygun maliyetli bir karbondan arındırma için uyarlanabilir ve kullanılabilir. [4].

AB'nin karbondan arındırma ve enerji geçişi hedeflerini gerçekleştirmesinde, Avrupa gaz altyapısının rolü çok önemlidir. Üçüncü Gaz Paketi ve milyarlarca Euro özel yatırımla teşvik edilen Avrupa gaz altyapısı, 2,2 milyon kilometrelik gaz boru hatları ve 1200 tWh yeraltı depolama kapasitesiyle tüm Avrupa'ya oldukça yayılmaktadır. Bugün bu altyapı, vatandaşlara ve endüstriye çeşitli, güvenli ve rekabete dayalı tedarik sağlamaktadır. Dahası, hibrit bir sistemde elektrikle birlikte mevcut gaz altyapısının kullanılması, karbondan arındırma ve enerji geçişine yönelik akıllı ve ekonomik bir çözüm sunmaktadır [5].

2. Hidrojen Tedariği

Dünyada çoğunlukla su halinde olmak üzere yalnızca bir bileşenin parçası olarak bulunan hidrojen; metan, benzin ve kömür gibi hidrokarbonlarda da mevcuttur.

Hidrojeni, su veya hidrokarbondan ayırma süreci için enerji gerekmektedir ve üretilen hidrojenin enerji içeriği, kullanılan yakıttaki enerji içeriğinden ve hidrojen ayırma için gerekli olan enerjiden her zaman daha düşüktür[2].

Ayrıca geleneksel yakıtlara kıyasla hidrojenin depolanması ve taşınmasında genellikle daha fazla enerji tüketilir. Bu da saf haldeki hidrojenin kullanıcılar ya da toplum açısından değerinin; hidrojenin üretimi, dağıtımı ve kullanımındaki enerji kayıplarını büyük oranda dengeleyecek kadar yeterli olması gerektiği anlamına gelmektedir.

2.1 Üretim

Hidrojenin enerji taşıyıcısı olarak talep görmesi için ana etken, karbondan arındırmadır. Bu da hidrojen tedarik zincirlerinin, alternatif hidrojen tedarik zincirleri dahil olmak üzere, alternatif rakip enerji tedarik zincirlerine kıyasla daha düşük karbon ayak izine sahip olmasını sağlayacak şekillerde hidrojen üretimine önem verildiği anlamına gelmektedir.

Karbon yakalama ve depolama olmaksızın gaz reformasyonu ile üretilen hidrojen (günümüzde en yaygın yöntemdir)

Hidrojen üretim yöntemleri;

1. Doğal gazdan üretim, CO₂ emisyonunu engellemek için CCS (karbon yakalama ve depolama) teknolojisi kullanılabilir.
2. Yenilenebilir elektrikten üretim, elektroliz kullanılır ve CO₂ emisyonu yok.

3. Kömürden üretim, CO₂ emisyonunu engellemek için CCS (karbon yakalama ve depolama) teknolojisi kullanılabilir.
4. Biyokütleden üretim, CCS teknolojisi kullanılmaz.

2.2 Taşımacılık - Depolama

Taşıma ve depolama için tercih edilen ya da en düşük maliyetli seçenekler, duruma bağlıdır

- **Sıvı (kriyojenik) hidrojen:**
Sıvı hidrojen, basınçlı hidrojene kıyasla daha yüksek bir enerji yoğunluğuna sahipken hidrojenin sıvılaştırılması için gereken enerji, sıkıştırılarak uygun basınç seviyelerine getirilmesi için gereken enerjiye nazaran daha fazladır.

- **Amonyak ve Hidrojenlenmiş sıvı organik hidrojen taşıyıcısı**

Amonyak, sıvı hidrojene kıyasla hacim başına daha yüksek enerji yoğunluğuna sahiptir ve sıvı halde düşük basınçlarda ya da yaklaşık -33 °C'de 1 bar değere sahip kriyojenik tanklarda depolanabilir ve taşınabilir. Bu ise amonyağın boru hatları, gemiler, kamyonlar ve diğer kütleli/yığın yöntemleri aracılığıyla düşük maliyetlerde taşınabileceği anlamına gelmektedir. Dikkat edilmesi gereken husus ise amonyak bileşimi ve devamında gelen hidrojeni salmaya yönelik hidrojen gidermenin ciddi bir enerji gerektirdiğidir.

- **Basınçlı gaz halinde hidrojen**

Basınçlı gaz halindeki hidrojenin boru hattıyla taşınması, büyük miktarlardaki hidrojenin uzak mesafelerde taşınmasının genellikle en uygun maliyetli yoludur. Taşıma işlemi hidrojen saf haldeyken ya da ilgili

yönetmeliklerle belirlenen veya sözleşme ya da diğer kısıtlamalarla mecbur kılınan limitleri aşmayacak şekilde gaz boru hatlarındaki doğal gaza katılarak gerçekleştirilebilir [4].

2.3 Elektroliz Türü

Elektrolizörler, P2G sisteminin temel bileşenini oluşturmaktadır ve genel olarak üç farklı türü bulunmaktadır. Bunlar:

- **Alkalin**
- **Proton Değişim Membranı (PEM)**
- **Katı Oksit**

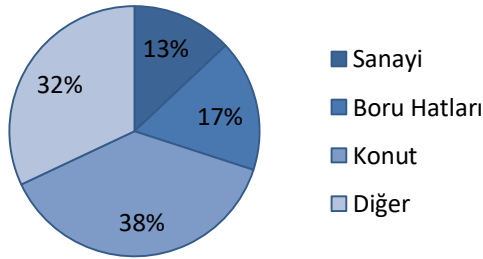
Alkalin elektrolizörlerinin verimi %65-70 arasında değişmektedir ve teknoloji geliştirme açısından en ucuzudur. PEM elektrolizörleri de tasarım açısından sade olmalarına karşın %65-83 arasında değişen yüksek verimlilikleriyle çok yönlüdür. Bu elektrolizörler, katalizör olarak platini kullanır ve dolayısıyla maliyetleri daha yüksektir. Katı Oksit elektrolizörleri ise hala laboratuvar aşamasında geliştirilmektedir ve bu yüzden şu anda herhangi bir P2G santralinde kullanılmamaktadır[6]. Alkalin ve PEM elektrolizi son yıllarda endüstriyel uygulamalarda ticari olarak kullanılmıştır.

3. Literatür

6 Avrupa ülkesinden 9 farklı şirket tarafından yürütülen AB fonu destekli THyGA projesi (Gaz Aletleri için Hidrojen Katkılarının Test Edilmesi) kapsamında doğal gaz sistemlerinde hidrojen kullanımı ile ilgili literatür taraması sonucunda öne çıkan detaylar ve sonuçlar; [7]

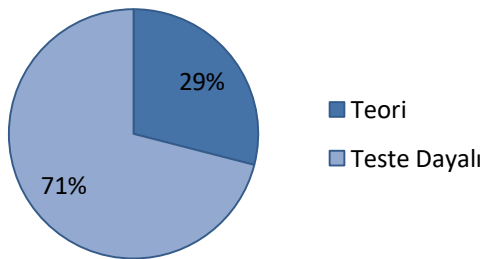
- Çalışma alanında konutlar öncelikli
- Çalışmaların büyük çoğunluğu sahada test edilmekte
- Hidrojenin emniyetli kullanımı
- Karbonmonoksit salınımı çalışmaları

Resim 1. Çalışma Alanı



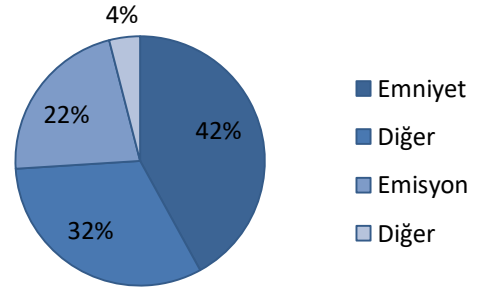
Şuana kadar ki çalışmaların %38 oranı konutlar üzerinde yapılmıştır

Resim 2. Çalışma Metodu



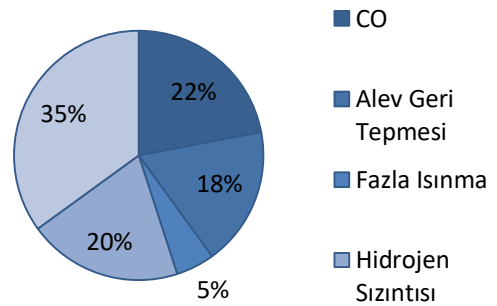
Çalışmaların büyük bir çoğunluğu laboratuvar ortamında teste dayalı şekilde gerçekleştirilmiştir

Resim 3. Çalışma Konusu



Çalışmalarda en çok ağırlık verilen konu doğal gaz-hidrojen karşımının emniyetli kullanımınıdır.

Resim 4. Emniyet Çalışmaları



Emniyet çalışmalarında ise ağırlık verilen konuların başında karbonmonoksit salınımıdır.

4. Doğal Gaz Altyapısı ile Uyumluluk

Hidrojen-Doğal Gaz karışımları; coğrafi konuma, H₂ konsantrasyonuna, doğal gaz bileşimine, debiye ve ağ yapısı ve nihai kullanıcı uygulamaları gibi diğer fiziki parametrelere bağlı olarak her bir doğal gaz altyapısına özgü özelliklere sahiptir.

Hidrojenin boru hattıyla taşınması ve yurt içinde kullanılması, teknik ve güvenlik açısından önemli sorunlar teşkil etmektedir. Hidrojen kolaylıkla sızıntı yapabilir, metal boruların kırılma hızına neden olabilir ve doğal gaz için kullanılan farklı kimyasal katkı maddeleri ve koku maddelerinin (alevin görülebilir olması ve gazın kokusunun alınması için) kullanılmasını gerektirebilir. Enerji yoğunluğu ve boru hattındaki akışı doğal gazdan farklıdır ve sistem işleyişleri, sayaçlar ve cihazlar açısından olası sonuçları vardır.

Hidrojenin doğal gaz ağına doğrudan enjeksiyonuna ilişkin bir diğer sorun hidrojen gevrekliğidir. Bu durum, demir ve çelikten yapılmış borularda meydana gelmekte ve boru çalışmasında çatlakların artmasına neden olabilmektedir [8].

Şu anda dağıtım boru hatlarının yapısında veya tüketici cihazlarında herhangi önemli bir değişikliğe gerek kalmaksızın hidrojenin, dağıtım ağlarında doğal gazla birlikte en fazla %20 oranında (hacim olarak enerji içeriği bakımından %6 oranına eşdeğer) karıştırılabileceği görüşü mevcuttur. Türbinlerin ve sıkıştırma istasyonlarının faaliyeti, sırasıyla %10 ve %20 H₂ konsantrasyonları için kritik olmamayı sürdürmektedir. Gaz türbinleri konusunda üreticiler, %1-5 arasında değişen düşük hidrojen konsantrasyonlarını önermekte ancak teknik düzeltmelerle türbinler, %10'luk sınır değer H₂ karışımıyla çalışabilmektedir [9].

Aynı zamanda çok sayıda düzenleyici, karışımdaki hidrojen miktarını düşük tutmaktadır. Örneğin, Birleşik Krallık'ta izin verilen sınır 0,1 iken Hollanda'da 12'lik yüzde derişimine kadar izin verilmektedir [10].

Bugünlerde, hidrojen gevrekliği yaşamayan polietilen, dağıtım ağlarında daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin, Birleşik Krallık'ta hidrojenle ilişkili olmayan bazı güvenlik sorunları nedeniyle dağıtım şebekesindeki demir gaz borularının polietilenle değiştirilmesine yönelik geniş çaplı bir plan (Demir Şebeke Değişirme Programı) başlatmıştır [11].

H₂-Doğal gaz karışımının ısı değeri, saf metana kıyasla daha düşük olduğundan karışımın dağıtım ağındaki kullanıcı mansabına ulaşan enerji içeriği son derece azalmış olabilmektedir[12]. Kesintisiz bir şekilde enerji tesliminin sürdürülmesi için H₂-Doğal gaz karışımının debilerinin nihai kullanıcı talebine göre değiştirilmesi gerekmektedir. Örneğin %15 H₂ ve %85 doğal gaz karışımında kesintisiz enerji tedarikini sürdürmek için karışım debisinin 1,7 kat artırılması gerekmektedir. Daha yüksek debiler ise dağıtım ağında altyapısal düzeltmeleri beraberinde getirir ve sıkıştırma istasyonlarının ve vana mekanizmalarının değiştirilmesini gerektirebilir [8].

5. Eysel Cihazlar ile Uyumluluk

Hidrojenin evde kullanımı özellikle sızıntı ve yanma riski açısından daha fazla güvenlik endişesi oluşturmaktadır. Örneğin, hidrojenin yanma riski doğal gazla kıyasla daha yüksektir ve tespit edilebilirliğini artırmak için doğal gazda olduğu gibi hidrojene de koku eklenmesi gerekebilir. Doğal gazın aksine saf hidrojen alevi neredeyse görünmez olduğundan renklendirici eklenmesi de gerekebilir [13].

Nihai kullanıcı uygulamaları üzerindeki önemli etkiler, cihazların fiziksel ve kimyasal özellikleriyle ilişkilidir.

Tablo 1. Hidrojen katkısının yanma süreçlerine etkisi

Teknoloji	H ₂ %	Kriterler							
		Güvenlik				Emniyet	Verimlilik	Emisyonlar	
		CO	Geri Tepme	H ₂ Kaçağı	Hararet			CO ₂	NO _x
Kombiler	<10%								
	10-30%								
	30-60%								
	>60%								
Su Isıtıcıları	<10%								
	10-30%								
	30-60%								
	>60%								
Ateş ve diğerleri	<10%								
	10-30%								
	30-60%								
	>60%								
Ocaklar	<10%								
	10-30%								
	30-60%								
	>60%								
GHP&CHP (ICE)	<10%								
	10-30%								
	30-60%								
	>60%								

Kaynak : ThyGA Projesi

	Referans mevcut değil
	İyi
	Uygun: Yalnızca teknik uyum ve adaptasyon sonrası
	Kabul edilebilir: Yalnızca teknik uyum ve adaptasyon sonrası

- **Beyaz** hücreler, gözden geçirilmiş literatürde hiçbir bilgi bulunmadığı anlamına gelir.
- **Mavi renk gradyanı**, doğal gazdaki H₂ katkısının yüzdesini artıran cihazların uyumluluğunu gösterir:
 - Açık mavi **uyumlu** olduğu anlamına gelir.
 - Koyu mavi, **uyumlu olmadığı** anlamına gelir.

Kombiler:

CO azalır; Geri Tepme (Flashback) hiçbir sorun bildirmedir, yakıt açısından zengin uygulama sorunları ortaya çıkabilir; Sızıntı problemsiz (<2bar); Aşırı ısınma brülöre bağlıdır ancak önemli bir sorun yoktur; Emniyet sorunu yok; Verimlilik çok az etkilenir, azaltılmış ısı çıkışı arttıkça H₂ yüzdesi yükselir; CO₂ emisyonları azalır ve NO_x emisyonları artar ancak artan hava oranı ile azalır.

Su ısıtıcıları:

CO sorun yok; Flashback (geri tepme) yok, yakıt açısından zengin uygulama sorunları ortaya çıkabilir; Kaçak bilgisi yok; Hararet bilgisi yok; Emniyet bilgisi yok; Verimlilik: %10 H₂'ye kadar verim kaybı olmaz; CO₂ emisyonları bilgisi yok, modern cihazlarda NO_x emisyonları azalıyor.

Ateş ve diğerleri:

CO biraz daha düşük; Geri tepme: %25 H₂'ye kadar flashback yok; Kaçak bilgisi yok; Aşırı ısınma %H₂ ne kadar yüksekse, brülör yüzey sıcaklığı o kadar artar; Emniyet bilgisi yok; Wobbe endeksinde verimde küçük azalma; CO₂ emisyonları azalır, NO_x emisyonları (artar) ancak artan hava oranıyla azalır.

Ocaklar:

CO azalır; Geri tepme: %25 H₂'ye kadar geri tepme yoktur, yakıt açısından zengin uygulama sorunları oluşabilir; Sızıntı: sorun yok; Aşırı ısınma (hararet) %H₂ ne kadar yüksek olursa, brülör yüzey sıcaklığı o kadar artar; Emniyet bilgisi yok; Wobbe endeksinde verimlilikte küçük bir azalma; CO₂ emisyonları azalır, NO_x emisyonları (artar) ancak artan hava oranı ile azalır.

GHP (Jeotermal Isı Pompası), CHP (Kombine Isı ve Elektrik):

CO azalır; Geri tepme: (flashback) sorun yok; Sızıntı problemsiz; Hararet bilgisi yok; Emniyet bilgisi yok; Verimlilik bilgisi yok; CO₂ emisyonları azalır, NO_x emisyonları (artar) ancak artan hava oranıyla azalır.

6. Avrupa'daki Projeler

Avrupa'da birçok "doğal gazla hidrojen enjekte" projesinin yer aldığını biliyoruz. Almanya, Fransa, Hollanda, İspanya gibi Avrupa ülkelerinde yer alan gaz şirketleri tarafından yürütülen bazı projeler Tablo 2. üzerinde yer verilmiştir.

Tablo 2. Avrupa'daki Bazı Doğal Gazla Hidrojen Enjekte Projeleri

	Proje Adı	Proje İçeriği	Proje Yürütücüsü	Proje Başlangıç - Bitiş	Türü	Kategori
1	Hydrogen/Basics and Network Analysis/Gas Quality	Yenilenebilir hidrojen kullanım miktarını artırmak için gaz altyapısını hazırlamak	Şirket: E.ON Schleswig-Holstein Netz AG	01.01.2019 – 31.12.2020	Devam eden proje (Etüd)	Araştırma, Ürün/ Teknik İnovasyon
2	Get H ₂ Nukleus	Yeşil hidrojen üretimini Aşağı Saksonya ve Kuzey Ren-Vestfalya'daki endüstriyel müşterilerle birleştirilmesi.	Şirket: BP, Evonik, Nowega, OGE ve RWE Generation	2020 - 2023	Planlama aşamasında	Teknik İnovasyon
3	Gas Network Operation with Pure (100 Vol.%) Hydrogen	Bu proje, şebekeler ve cihazlar için H ₂ sınır koşulları araştırılacak ve gerekli adımları açıklayacaktır.	Şirket: Avacon Netz GmbH	01.01.2021 – 31.12.2024	Teklif aşamasında (Etüd)	Araştırma/ Teknik İnovasyon
4	Smart Field Station in Metelen Based on Hydrogen	Bu projenin amacı, yenilenebilir enerji üretimi ve enerji depolamayı yüksek derecede kendi kendine yeterlilik ile sürdürülebilir bir enerji arzı elde etmek amacıyla birleştirilecek bir sahada enerji tedarik konsepti geliştirmek ve uygulamaktır.	Şirket: Westnetz	01.07.2016 – 31.12.2020	Devam eden proje (Etüd/ Pilot/ Uygulama)	Araştırma, Ürün/ Teknik İnovasyon
5	HyBridge	Hybridge'in, Almanya'daki ilk büyük ölçekli power-to-gas santrali olduğu söylenebilir. Elektrolizör, 100 MW elektriği yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrojene dönüştürmek için tasarlanmıştır. Projenin amacı, enerji sisteminin dönüşümünde anahtar rol oynayacak bir teknoloji geliştirmektir.	Şirket: Open Grid Europe GmbH & Amprion GmbH	2017-2023	Planlama aşamasında (öngörülen uygulama tarihi 2023)	Teknik İnovasyon
6	SINATRAH	SINATRAH projesi, hidrojen taşımacılığı için doğal gaz şebekesi altyapısının kullanım fırsatından yararlanmak amacıyla anahtar sistemler geliştirecektir.	Şirket: Nortegas Energia Distribucion	01.10.2018 – 30.09.2020	Devam eden proje (Laboratuvar)	Araştırma/ Ürün geliştirme
7	Westküste100	Batı bölgesi saha testi uygulamasının amacı, batı kıyısı bölgesini yenilenebilir enerjiler için örnek bir bölgeye dönüştürmektir. Heide rafinerisinde kimyasal hammaddelerin üretimi için gerekli olan rüzgar enerjisi temelinde hidrojen üretmek için büyük ölçekli bir elektrolizör kullanılacaktır.	Şirket: EDF Germany, FH Westküste, Holcim, Open Grid Europe GmbH, Orsted, Raffinerie Heide, Entwicklungsagentur Region Heide, Stadtwerke Heide & tyssenkrupp	01.07.2020 – 30.06.2025	Planlama ve uygulama aşamasında	Teknik İnovasyon
8	H2morrow	H2morrow projesinin amacı, 2020'lerin ikinci yarısına dek dekarbonize edilmiş doğal gazdan yılda 8.6 TWh hidrojen ile NRW'deki tyssenkrupp çelik fabrikası ve diğer son kullanıcılara tedarik sağlamaktır.	Şirket: Open Grid Europe GmbH	01.01.2018 – 31.12.2030	Etüd-Pilot aşamasında	Teknik İnovasyon

9	HyGrid	HyGrid projesi, hidrojenin doğal gaz şebekelerinden doğrudan ayrılması için gelişmiş yüksek performanslı, uygun maliyetli bir ayırma teknolojisinin geliştirilmesi için entegre bir çözüm önermektedir.	Şirket: Nortegas Energia Distribucion	01.05.2016 – 30.04.2020	Devam eden proje (Etüd, Pilot)	Araştırma/ Ürün geliştirme
10	H ₂ NG Injection in a Transport Network Section	H ₂ NG karışımının, bir indirgeme basınç istasyonundan son kullanıcılara kadar ulaşım ağının küçük bir kısmında %5'e (Faz 1) ve %10'a (Faz 2) eşit H ₂ yüzdeleriyle enjeksiyonu.	Şirket: Snam S.p.A.	01.2019 – 06.2020	Pilot deneme aşamasında (%5 H ₂ tamamlandı %10 H ₂ 'ye başlanacak)	Teknik İnovasyon
11	Feasibility of Hydrogen in the National Transmission System	NTS'nin (Ulusal İletim Sistemi) hidrojen taşıma kapasitesini belirlemek amacıyla bir fizibilite çalışması. İlgili varlıkların gözden geçirilmesini, boru hattı vaka çalışmalarını ve malzeme ve standartlar için boşluk analizini içerir.	Şirket: National Grid	13.11.2018 – 31.05.2019	Devam eden proje	Araştırma
12	Aberdeen Vision	Aberdeen şehrine tedarik sağlamak amacıyla %2'ye kadar NTS (Ulusal İletim Sistemi) kullanılarak St Fergus'da hidrojen üretimi için bir fizibilite çalışması. Üretim, enjeksiyon, ayırma ve taşıma içerir.	Şirket: National Grid	03.12.2018 – 30.09.2019	Tamamlanan proje	Araştırma
13	Hydrogen Flow Loop	%30 hidrojene maruz kaldığında mevcut Ulusal İletim Sistemi (NTS) çelik borusu ve yeni MASIP (Mobil otomatik spiral kilitleme borusu) üzerindeki metalurji değişikliklerini değerlendirmek için çevrimdışı test döngüsü, NTS'nin hidrojen taşıma uygunluğunu belirlemek için sonraki adımları tanımlar.	Şirket: National Grid	20.06.2019 – 29.05.2020	Devam eden proje	Araştırma
14	HyNTS Proof of Concept	Projenin amacı, Ulusal İletim Şebekesi içinde hidrojeni fiziksel olarak denemek için neyin gerekli olacağını anlamak ve bunun tamamlanabileceği tüm potansiyel yolları özetlemek.	Şirket: National Grid	01.08.2019 – 01.08.2020	Planlama tamamlandı	Araştırma
15	Hydrogen High Pressure Line Made of Plastic (<16 bar / <25 bar)	Proje, hidrojenin boru hattıyla bölgesel taşınması için <16 bar / <25 bar basınçlar için tasarlanan plastikten yapılmış yüksek basınçlı hidrojen boru hattının planlanması ve işletilmesi için alınan önlemleri içerir.	Şirket: E.ON / Avacon Nets GmbH	01.01.2020 – 31.12.2020	Test aşamasında	Araştırma / Teknik İnovasyon
16	Project Cavendish	Londra 'ya üretim, depolama, nakliye ve CCS de dahil olmak üzere hidrojen sağlamak için mevcut altyapıyı potansiyelinin gözden geçirilmesini içerir.	Şirket: National Grid	02.01.2019 – 31.01.2020	Devam eden proje	Araştırma
17	JUPITER 1000	Jupiter 1000 projesi, Fransa'da elektroliz ve karbon yakalama ile metanasyon işlemi için 1 Mwe güç derecesine sahip ilk endüstriyel Power-to-Gas (P2G) uygulamasıdır.	Şirket: GRTgaz, RTE, TERAGA, CEA, CNR, McPhy, Leroux&Lotz, ATMOSTAT, GPMM	30.06.2014 – 31.01.2023	Yapım aşamasında (uygulama)	Araştırma, Ürün/ Teknik İnovasyon
18	Grid Components for Hydrogen Admixture	Proje, yaklaşık %20'ye varan oranlarda hidrojen katkısına izin vermek için gaz dağıtım ağlarını geliştirmeyi içerir.	Şirket: E.ON / Avacon Netz GmbH	01.06.2019 – 31.05.2020	Devam eden proje (pilot)	Ürün/ Teknik İnovasyon

19	10 Vol. % Hydrogen in a Natural Gas Grid	Proje amacı gaz dağıtım şebekesine %10'a kadar hidrojen ile beslemenin mümkün olduğunu göstermeyi içerir.	Şirket: Schleswig-Holstein Netz AG	07.2012 - 07.2015	Tamamlanan proje	Araştırma / Teknik İnovasyon
20	20 Vol. % Hydrogen in a Natural Gas Grid	E.ON Group'un önceki projesinin sonuçlarına dayanarak, %20'ye kadar hidrojen konsantrasyonlarının bir şebekeye beslenebileceğini göstermeyi amaçlar.	Şirket: Avacon Netz GmbH	01.01.2019 – 31.12.2021	Devam eden proje	Araştırma / Teknik İnovasyon
21	E.ON ReVu Gas Network Operation with Pure (100 Vol.%) Hydrogen	H ₂ -Ready Projesi sonuçlarından ve %20 H ₂ karıştırma oranları ile kazanılan deneyimden sonra, bu proje saf (%100) hidrojen ile küçük bir tedarik ağının çalışmasını inceleyecektir.	Şirket: Avacon Netz GmbH	01.10.2021 – 31.12.2024	Planlanan proje	Araştırma / Teknik İnovasyon
22	Development of Hydrogen Infrastructure with Existing Natural Gas Plants	Müşterilere doğrudan bağlanan bir doğal gaz boru hattını (vanalar ve kontrol sistemi gibi çevre birimleri dahil) saf bir hidrojen boru hattına dönüştürmektir. Dönüşümden önce uygun bir boru hattı bulmaya yarayan bir fizibilite olacaktır.	Şirket: Westnetz	01.01.2019 – 31.12.2022	Devam eden proje	Araştırma, Ürün/ Teknik İnovasyon
23	GRHYD	Capelle-la-Grande bölgesinde 100 evi besleyen doğal gaz dağıtım şebekesine hidrojen enjeksiyonu ve %20 hidrojene kadar kolektif bir kazan - CNG otobüs istasyonu için kullanılan Hythane yakıtı: %20 hidrojen	Şirket: ENGIE	31.01.2014 – 13.10.2020	Devam eden proje	Araştırma, Ürün/ Teknik İnovasyon
24	THyGA	Projenin temel amacı, konut ve ticari gaz cihazlarındaki hidrojenin teknik etkilere ilişkin bilgi boşluklarını kapatarak (doğal gazdaki hidrojen) karışımlarının geniş bir şekilde benimsenmesini sağlamaktır.	Şirket: ENGIE, DGC, Electrolux, BDR, Gas.Be, CEA, GWI, DVGW-EBI ve GERG	06.05.2020 – 30.11.2022	Devam eden proje	Araştırma, Ürün/ Teknik İnovasyon
25	Long-Term Resistance of Gas Boilers to Hydrogen	> %20 oranında hidrojen içeren gazlarla çalışan mevcut gaz cihazlarının uzun vadeli stabilitesini ve fonksiyonel güvenliğini göstermeyi amaçlar.	Şirket: E.ON / Avacon Netz GmbH	01.06.2020 – 31.12.2021	Planlama tamamlandı	Araştırma/ Teknik İnovasyon
26	H21	Leeds şehri gaz şebekesinin bir kısmını % 100 hidrojen ile test edilmesi	Şirket: Northern Gas Networks (NGN), Kiwa Gastec, Amec Foster Wheeler ve Wales & West Utilities	11.07.2016 – 01.01.2023	Devam eden proje	Araştırma, Ürün/ Teknik İnovasyon
27	HyDeploy	HyDeploy, % 20'ye kadar hidrojenin doğal gazla karıştırılmasının, evlerde kullanımının güvenli ve yeşil bir alternatif olduğunu kanıtlamayı hedefliyor	Şirket: Cadent, Northern Gas Networks (NGN), ITM Power, Keele University	01.04.2017 – 01.09.2020	Devam eden proje	Araştırma, Ürün/ Teknik İnovasyon

7. Ekonomik Durum

2050'ye giden yolda özel ve endüstriyel tüketicileri için enerji maliyetlerini önemli ölçüde artıracığından tamamen elektriğe dayalı bir dünya ne teknik ne de ekonomik açıdan uygulanabilir. Avrupa gaz altyapısı, Avrupa için güçlü bir stratejik varlık olmaya devam edecektir. Gaz altyapısı işletmecileri ise, diğer yenilenebilir gazlar arasında (ör. biyometan, sentetik metan) giderek daha fazla yenilenebilir ve düşük karbonlu hidrojenin yolunu açacak şekilde daha az doğal gaz kullanacaktır. Yakın gelecekte elektriği gaza dönüştürme teknolojilerinin kullanımı, gaz altyapısında daha büyük miktarlarda yenilenebilir kaynakların iletimi, dağıtımı ve depolamasını mümkün kılacaktır. Benzer şekilde doğal gazın, CCS ile gaz reformasyonu aracılığıyla dönüştürülmesi de daha yüksek hacimlerde düşük karbonlu hidrojen ekleyebilir. Hidrojenin taşınması ve depolanmasına özel altyapı kurulabilir ancak mevcut gaz altyapısının, sadece hidrojenin taşınması için değil aynı zamanda bir depolama aracı olarak uyarlanması, başka bir amaca uygun hale getirilmesi ve kullanılması hem önemli sosyal faydaların hem de hidrojenin enerji sistemindeki yükseltici rolüne yönelik uygun maliyetli yolun önünü açmaktadır. Mevcut doğal gaz altyapısı enerji sisteminde büyük çaplı bir depolama görevi görecek. Öte yandan da bir karışım ve/veya %100 hidrojen olarak enjekte edilmesiyle hidrojenin, iç enerji piyasasına sorunsuz bir şekilde entegre edilmesini sağlayacaktır [4].

Avrupa halihazırda elektroliz piyasasındaki (entegratörler, bileşen sağlayıcıları, OEM'ler) güçlü varlığı ve rolüyle önde gitmektedir. Ancak bu teknoloji, endüstriyel büyüme sağlamak ve maliyetlerin aşağı çekilmesi için daha büyük pazarlar ve daha çok geliştirme gerektiren yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle şu aşamada oldukça pahalı kalmaktadır. Şu anda elektrolize yönelik kabul edilmiş bir politika ve mevzuat çerçevesinin

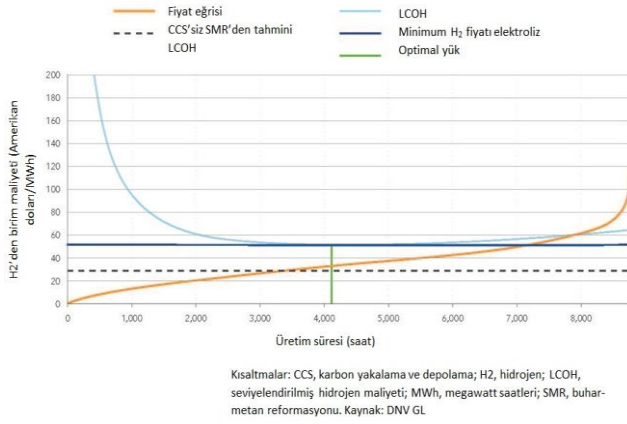
bulunmaması, piyasanın gelişimini engellemektedir [14].

Mevcut gaz altyapısının kapsamlı taşıma ve depolama kapasiteleri sayesinde, doğal gazın CCS ile gaz reformasyonu aracılığıyla veya yenilenebilir elektriğin elektroliz aracılığıyla hidrojene dönüştürülmesi, enerji yatırımcılarına gelecekte önemli ölçüde maliyet tasarrufu yapmasına imkan tanıması beklenmektedir

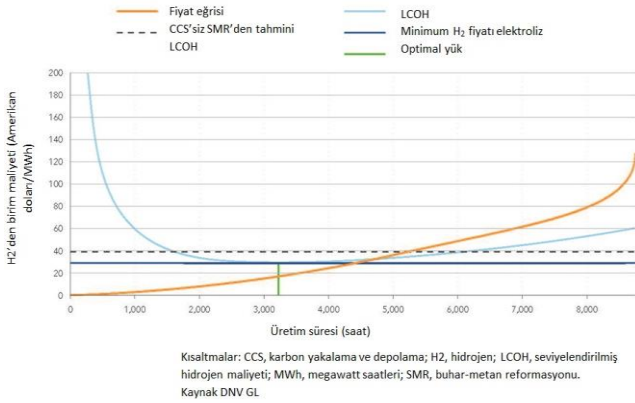
Resm 5 ve 6'da DNV GL tarafından hazırlanan 2016 ve 2030'da Kaliforniya'daki elektrolizden hidrojen üretim maliyetinin analizi gösterilmektedir. Turuncu eğri, elektrik üretimini temsil eden kavramsal bir elektrik fiyatı eğrisidir. Örneğin resim 5'de 2016'daki 2.000 saatlik elektrik üretim maliyetinin 20 Amerikan dolarından daha az olduğu görülmektedir. Hidrojen, 2016'daki sadece bu saatler içerisinde üretilmiş olsaydı, hidrojen üretim maliyeti yaklaşık 60 Amerikan doları/MWh veya 2 Amerikan doları/kg olacaktır. Ayrıca yaklaşık 4.100 yük saatine kadar hidrojen üretmeye devam ederek hidrojen maliyetinde daha fazla kesinti yapmanın mümkün olabileceğini de görüyoruz. Bunun nedeni ise artan yük faktörüyle birlikte hidrojen kg başına sermaye gideriyle (CAPEX) ilgili yıllık ödemelerin azalmasıdır.

2016'dan 2030'a doğru elektrolizden hidrojen üretim maliyetinde önemli bir düşüş de görülmektedir. Bunun anlamı, elektroliz yoluyla hidrojen üretiminin 2030'da gaz reformasyonu ile birlikte rekabete dayalı bir maliyeti olabileceğidir.

Resim 5. Kaliforniya 2016: Elektrolizden Hidrojen Maliyeti



Resim 6. Kaliforniya 2030: Elektrolizden Hidrojen Maliyeti



Kaliforniya'da 2016'da ve 2030'da elektroliz yoluyla H₂ üretimi maliyeti Turuncu çizgi, en düşükten en yükseğe kadar saat bazında elektrik üretim maliyetini temsil eden yumuşatılmış bir liyakat sıralaması eğrisidir. Kesintisiz gri çizgi, elektrolizörlerin sadece turuncu eğrideki ilgili noktana kıyasla daha düşük Amerikan doları/MWh'li saatlerde faaliyet göstermesi durumundaki LCOH'yi göstermektedir. Kesikli gri çizgi ise CCS'siz SMR'den beklenen LCOH'u göstermektedir.

2015 yılında gaz şebekesindeki hidrojenin seviyelendirilmiş maliyetinin mevcut gaz fiyatının neredeyse dört katı olduğunu tespit edilmiş ve seviyelendirilmiş hidrojen maliyeti 2050'ye kadar düşse bile yine de gaz

fiyatından daha yüksek olabileceği tahmin edilmektedir[15].

Birleşik Krallık, Hollanda ve Fransa'da bulunan gaz şebekelerinde hidrojene yönelik teknik zorluklara ilişkin yapılan araştırmada; az miktarlarda hidrojenin (3'lük yüzde derişime kadar) fazla maliyet ya da etki olmaksızın gaz şebekesine enjekte edilebileceği ve böylece yenilenebilir enerjiden üretilen hidrojen için az fakat kullanışlı bir çıktı elde edilebileceği tespit edilmiştir[16].

Hidrokarbondan üretilerek doğal gaz şebekesine enjekte edilen hidrojen maliyetini tahmin etmek için H21 Leeds City Gate projesi incelenebilir. Bu proje Power to Gas projesi olmayıp SMR(buhar-metan reformasyonu)'den hidrojen üretim projesidir. SMR yöntemi, gerekli hidrojen tedarikinin oldukça fazla olması nedeniyle seçilmiştir (yıl başına 6 TWh). Proje geniş kapsamı ve hidrojenin üretimi, dağıtımı ve nihai kullanımına ilişkin gerekliliklerin detaylıca incelenmesi sebebiyle önem arz etmektedir. Örneğin gaz şebekesinin hacim depolama kapasitesi dikkate alınmış ve hidrojenin ısıl değerinin doğal gaza kıyasla daha az olması hesaba katılmıştır. Bunun sonucunda ilave gün içi tuz mağarası depolaması da tasarıma eklenmiştir. Talepte sezonlar arası farklılıkların karşılanması için SMR'lerin yıl boyunca daha istikrarlı bir şekilde işletilmesini sağlayacak başka tuz mağarası depoları da belirtilmiştir. Çalışma genel olarak söz konusu değişikliğin yaklaşık 2 milyar £ tutarında olacağı ve şehirde ısıtma kaynaklı karbon emisyonlarının %73 oranında azalacağı sonucuna varmıştır[17].

AB ülkeleri arasında hidrojene en fazla yatırımı yapan Almanya ise, COP21 hedefleri doğrultusunda mevcut gaz altyapısının hidrojene uygun hale dönüştürülmesi için ek maliyetlerin en az 45 milyar Euro (2020-2050, sadece Almanya) olduğunu ve dönüştürmede beş yıllık bir gecikmenin ek maliyetlerde yaklaşık %25 artışa yol açacağını belirtmiştir[4].

8. Doğal Gaz Abonesinin Yaklaşımı

İngiltere’de Leeds Beckett Üniversitesi, Leeds Sustainability Enstitüsü tarafından 1.000 üzeri doğal gaz kullanıcısı ile yapılan anket çalışması ile abonelerin hidrojen kullanımına yaklaşımları tespit edilmeye çalışıldı;

- %20’si çok olumlu
- %28’si olumlu
- %30’su emin değil
- %10’u endişeli
- %12’si çok endişeli

5 farklı kategoriye ayrılan doğal gaz kullanıcıların hidrojen kullanımı için genel kanaati, olumlu karşıladıkları durumlar ve beklentileri;

Tablo 2. Grup 1 : Kabul Edenler

Olumlu Bulunan Durumlar	Beklentiler
1. Hidrojen, doğal gazın aksine yenilenebilir bir enerji kaynağıdır	1. Faturalar daha pahalı olmamalı
2. Hidrojen, doğal gazın aksine sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır	2. Hidrojen kullanımı doğal gaz kadar güvenilir olmalı
3. Hidrojen doğal gazdan daha temizdir	3. Kombiler kolayca dönüştürülebilir olmalı

Özellikle çevreye olumlu katkısı ve karbon ayak izini azaltmaya yardımcı olmasından dolayı önemli olduğunu düşünüyorum

Tablo 3. Grup 2 : İhtiyatlılar

Olumlu Bulunan Durumlar	Beklentiler
1. Hidrojen, doğal gazın aksine yenilenebilir bir enerji kaynağıdır	1. Faturalar daha pahalı olmamalı
2. Hidrojen kullanımı güvenli ve karbonmonoksit zehirlenme riski yok	2. Hidrojen kullanımı doğal gaz kadar güvenilir olmalı
3. Hidrojen doğal gazdan daha çevrecidir	3. Kombi değişimine ihtiyaç duyulmamalı

Ocağımy ve kombim etkileyip etkilemeyeceğini bilmememe rağmen çevreye yardımcı olması harika bir şey

Tablo 4. Grup 3 : Kararsızlar

Olumlu Bulunan Durumlar	Beklentiler
1. Hidrojen kullanımı güvenli ve karbonmonoksit zehirlenme riski yok	1. Faturalar daha pahalı olmamalı
2. Hidrojen yerel olarak üretilebilir	2. Hidrojen kullanımı doğal gaz kadar güvenilir olmalı
3. Hidrojen doğal gazdan daha temizdir	3. Değişim sürecinde herhangi bir ücret ödenmemeli

İyi bir değişiklik olabilir. Ama şu anda belirsiz. Sonuçlarını görene kadar bir şey diyemem

Tablo 5. Grup 4 : Emin Olmayanlar

Olumlu Bulunan Durumlar	Beklentiler
1. Hidrojen yerel olarak üretilebilir	1. Faturalar daha pahalı olmamalı
2. Hidrojen doğal gazdan daha temizdir	2. Değişim sürecinde herhangi bir ücret ödenmemeli
3. Hidrojen kullanımı güvenli ve karbonmonoksit zehirlenme riski yok	3. Kombi değişimine ihtiyaç duyulmamalı

Bu gazın ne olduğunu, çevre için nasıl daha iyi olduğunu, nereden geldiğini, ne kadar süreceğini, evlerde kullanmanın ne kadar maliyeti olacağını bilmek isterim

Tablo 6. Grup 5 : Reddedenler

Olumlu Bulunan Durumlar	Beklentiler
1. Hidrojen gazını yakmak sadece su üretir,	1. Faturalar daha pahalı olmamalı
2. Hidrojen, doğal gazın aksine yenilenebilir bir enerji kaynağıdır	2. Hidrojen kullanımı doğal gaz kadar güvenilir olmalı
3. Hidrojen doğal gaz gibi bir fosil yakıt değildir	3. Değişim sürecinde herhangi bir ücret ödenmemeli

Arz türünü veya tarzını her değiştirdiklerinde, her zaman bir fiyat artışı olur ve şirketler daha fazla kar elde ederler

Leeds Beckett Üniversitesi yapılan bu çalışmada öne çıkan detaylar ;

- Hidrojen konusunda farkındalık çok zayıf.
- Hidrojen dönüşümüyle ilgili endişeler güvenlikten ziyade çevre ile ilgili.
- Ekonomik endişeler : potansiyel fiyat artışları ve cihaz değiştirme maliyetleri[18].

9. Mevzuatsal Durum

Hidrojenin sektör ve bölgeler genelinde derin ve kapsamlı penetrasyonu, hidrojen piyasalarının farklı nihai kullanım sektörlerinde (taşımacılık, ısıtma, sanayi) ölçeğinin büyütülmesini yürütmek için yeterli politikaların bulunmaması halinde mümkün olmayacaktır. Aynı şey, merkezsizleştirilmiş ve merkezleştirilmiş ölçekte hidrojen üretimi ve sonrasında bu üretimi müşterilere/nihai tüketicilere bağlayabilecek altyapı sağlayan yeterli endüstriyel politikaların bulunmaması durumunda da geçerlidir[19].

Gaz şebekesinde izin verilen hidrojen konsantrasyonu, Üye Devletler arasında önemli ölçüde değişmektedir (%0,1 Hacim ve %10 Hacim arasında) ve AB ülkelerinin birçoğunda gaz ağına hidrojen enjeksiyonuna genellikle izin verilmemektedir. Doğal gaz ağında izin verilebilir hidrojen konsantrasyonunun kurallarını ne uluslararası ne de Avrupa standartları tanımlamaktadır. Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN) standardı EN 16726: 2015 şöyle özetliyor: “Şu anda Avrupa’nın gaz altyapısının tüm bölümleri için genel olarak geçerli sayılacak sınırlandırıcı bir hidrojen değeri belirlemek mümkün görünmemektedir. Sonuç olarak bu, duruma göre analiz yapılarak tavsiye edilmektedir.” Düzenlemelerin eksik olması, gaz piyasasında bölünmelere neden olmaktadır ve sınır ötesi bağlantı noktalarında sorunlara yol açabilir. “Gaz şebekesinde kabul edilebilir bir hidrojen konsantrasyonu ve yaygın Wobbe Endeksi konusunda anlaşmaya varılması ve ilgili gaz kalite standartlarının geliştirilip benimsenmesi gerekmektedir.

Yenilenebilir ve düşük karbonlu gazların yanı sıra diğerlerine ek olarak elektriği gaza dönüştürme için net tanımların, bunların karbondan arındırmaya ve hidrojen ekonomisine katkısını kabul etmesi gerekmektedir. Avrupa Birliği, Tüm Avrupalılar için Temiz Enerji paketi kapsamında Yenilenebilir Enerji Direktifinin

(-AB- 2018/2001 Direktifi), yani REDII’nin yeniden düzenlenmesinin güncellenmesini kabul etmiştir.

Hidrojenin kabul edilebilir konsantrasyonuna yönelik Avrupa düzeyinde yaygın bir yaklaşım ihtiyacı ve AB’nin tüm üyelerinden teknik ve yasal mevzuatın geliştirilmesi, hidrojenin Avrupa gaz şebekesine enjeksiyonunu sağlamak için esas teşkil etmektedir. AB’nin doğal gaz ağlarında hidrojen kullanımını yaygınlaştırmak için “Avrupa Hidrojen Birliği” tarafından önerilen hususlar şunlardır;

- Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen gazın entegrasyonunu kolaylaştırmak için mevcut gaz ağı altyapısını genişletme ihtiyacını değerlendirecek ve sistem işletmecilerinin gaz kalitesi, gaz kokulandırması ve gaz basınç gerekliliklerini kapsayan bağlantı kurallarını yayımlamasını gerektirecektir.
- İletim ve dağıtım sistemi işletmecileri, yenilenebilir gazlar için üretim santrallerini şeffaf ve ayrımcı olmayan bir şekilde birleştirmek için bağlantı tarifelerini yayımlanması.
- Düşük karbonlu hidrojen üretimi tasarımlarını desteklemek dahil olmak üzere CCS’li gaz reformasyon birimlerine izin verilmesi ve bunların işletilmesine yönelik AB düzeyinde bir çerçevenin oluşturulması.
- Nihai kullanıcı cihazlarındaki kabul edilebilir güvenlik ve işlevsel eşğin belirlenmesi için AB genelindeki nihai kullanıcı cihazlarının değerlendirilmesi.
- Avrupa gaz ağlarında hidrojen akışının artmasını sağlamak için faturalama,

ölçme ve idari gereklilikleri uygun yasal çerçevelerle incelemek.

- Bağlantı ücretleri ve masraflarının yanı sıra tedarik/enjekte edilen hidrojen bedelini kapsayan fiyatlandırma ilkeleri oluşturmak.
- Hidrojenin gaz şebekesine bağlantısı ve enjeksiyonu için güvenlik ve teknik bütünlük sınırlamalarının, AB genelinden kapsamlı ve eşgüdümlü bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.
- Elektrikçi gaza dönüştürme dönüştürme faaliyetlerini desteklemeye yönelik yasal yollar oluşturmak için teknik ve gaz tüketim kurallarının gözden geçirilmesi gerekmektedir.
- Hidrojen teknolojilerini geliştirme ve uygulama projelerinin ulusal ve bölgesel fonlama programları ile azami seviyeye çıkarılması gerekmektedir[4].

10. Avantajlar - Zorluklar

Hidrojen teknolojisi sağladıkları avantajlardan ötürü ileriye dönük doğal gaz sektörü için oldukça umut verici görünüyor.

Hidrojen gazının üretimi ve kullanımının avantajlar şunlardır:

- Hidrojen gazı üretim teknolojileri günden güne gelişmekte ve üretim maliyetleri azalmaktadır.
- Avrupa ülkeleri gibi bina ısıtmasında yaygın olarak gaz kullanan ülkelerde, hidrojenle ısınan binalar iyi bir karbondan arındırma seçeneği olabilir.
- Avrupa, hidrojen için ölçülebilir depolama kapasitelerine halihazırda sahiptir. Gaz şebekesi 36 milyar m³ kapasiteye sahip ve %10'un karışım olduğu göz önünde bulundurulursa 100 TWh hidrojene kadar anında depolama yapabilir. Gelecekte tuz mağaraları ve tükenik gaz alanları da depo görevi görebilir. Halihazırda %80 kapasiteye sahip olduğu göz önünde bulundurulduğunda Avrupa'nın 18 milyar m³'lük tuz mağaraları, yaklaşık 49 TWh hidrojen için depolama sağlayabilir.
- Mevcut doğal gaz boru hatları ile hidrojenin taşınma imkanının olması.
- Belli orandaki hidrojen ve doğal gaz karışımında mevcut altyapı ve evsel cihazların değiştirilmesine ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Karbon salınımının azaltılmasına büyük katkı sağlamaktadır.
- Elektriğin gaz ile taşınması ve depolanması.
- Fosil yakıt ithalatına bağlılığı azaltması.

Bununla birlikte, bazı önemli zorlukların ele alınması ve üstesinden gelinmesi gerekmektedir:

- Bugün itibariyle, sadece küçük P2G santralleri (10 MW'a kadar) işletilmektedir ve bu nedenle, sentetik gaz üretimi şu anda pahalıdır[20].
- Yüksek hidrojen üretimi için elektroliz üretim kapasitesinin geliştirilmesi gerekmektedir.
- P2G ve SMR yöntemleri ile üretilen hidrojen maliyeti halen daha yüksektir.
- 2030 yılına kadar hidrojen maliyetinin doğal gaz fiyatından daha yüksek olacağı öngörülmekte.
- Hidrojen enjeksiyonu ile ilgili mevzuatsal eksiklikler.
- Hidrojen enjeksiyonuna bağlı olarak altyapı ve evsel cihazlarda değişikliğe ihtiyaç duyulması.
- Şu ana kadar yürütülen projelerin çoğunun küçük ve orta ölçekli olması.
- Hidrojenin yaklaşık %95' lik kısmı kısmı fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Yenilenebilirin payı çok düşüktür.
- Hidrojen konusunda mevcut düzenlemelerin, piyasa teşviklerinin, tarifelerin vb. duruların daha fazla gelişmeye ihtiyacı vardır.

11. Doğal Gaz Sistemlerinde Hidrojen Teknolojisinin Geleceği

Avrupa Hidrojen Birliği'nin hazırlanmış olduğu "Avrupa Hidrojen Yol Haritası" raporuna göre;

- 2023 yılına kadar 5 AB ülkesinde hidrojen ile harmanlanmış gazın kullanımına başlanması
- 2025 yılına kadar 10 AB ülkesinde hidrojen kullanımı, 2 AB bölgesinde konutlar için %100 hidrojen kullanımı

2030 yılı hidrojen kullanımı hedefi;

- Hidrojen ücretinin €2/kg veya altında olması
- 30 Twhpa H₂ nin doğal gaz şebekesine enjekte edilmesi
- Enerji depolanması teşvik etmek ve elektroliz tesislerin ucuz elektriğe erişmesine izin vermek için düzenleme değişiklikleri yapılması
- Elektroliz sermaye giderlerinin %30 azalma beklenmekte
- 10 AB bölgesinde şebekelerde %100 hidrojen kullanımı
- Yıllık 20-25 milyar dolarlık yatırım öngörülmekte
- 2030'da elektroliz, CCS ile gaz dönüşümüne karşı eşit maliyet şartlarında rekabet edebilir

2050 yılı hidrojen kullanımı hedefi;

- Avrupa'da yenilenebilir gaz üretiminin artmasıyla 2050 yılına kadar 600.000 yeni istihdam imkanının oluşması
- Hidrojen üretimi için toplam sermaye harcaması 2050 yılına kadar 140 ila 400 milyar € arasında olması beklenmekte
- Hidrojenin, Avrupa'da doğal gazın % 50'lik payını alması beklenmektedir

12. Değerlendirme

- Tamamen hidrojene dayalı bir tedarik sistemine geçilmesi uzak bir gelecektir ve önemli derecede devlet desteği gerektirecektir.
- Hidrojene geçişin bu ilk aşamalarında gaz tedarik sistemine yönelik mevcut düzenleyici ve ticari çerçevenin uyarlanması gerekecektir.
- Hidrojen enjekte oranına göre yeni nesil cihazlar ve sayaçların kullanımına ihtiyaç duyulabilir.
- Hidrojen üretim maliyetlerinin yakın gelecekte çok düşmesi beklenmemektedir.
- İleriye dönük hidrojen ve doğal gazın rekabetçi toptan satışın oluşturulması, enerjinin dengelenmesi ve taşımacılığın ücretlendirilmesi için çalışmaların başlatılması gereklidir.
- Teknik ve güvenliğe ilişkin sorunların çözülmesi durumunda AB'de hidrojenin, ısının karbondan arındırılmasında büyük bir rol oynaması mümkündür.
- Hidrojen taşıma, tedarik ve kullanımına yönelik revize edilmiş ya da yeni, sağlıklı ve güvenli bir çerçevenin geliştirilmesi gerekmektedir.
- Yenilenebilir enerjilerin üretim maliyeti ciddi derecede azaltılmış olsa dahi altyapı yatırım düzeyi (elektroliz, depolama vb.) ve elektrik maliyeti, yenilenebilir hidrojenin rekabetçi olmasına henüz olanak tanımamıştır.
- Almanya, İngiltere, Fransa, Danimarka, Hollanda gibi ülkeler doğal gaz sistemlerinde hidrojen kullanımı için yol haritalarını açıkladılar.
- Avrupa'da toplam talebin üstünde üretilen yenilenebilir enerji üretiminin kesilmesi yerine hidrojen teknolojisi ile elektriğe gaza dönüştürme projelerinde artışlar olacaktır.
- Karbon emisyonları azaltımı için özellikle P2G projelerine daha çok ağırlık verilmelidir.
- Alternatif olarak gaz şebekesinin bulunmadığı yerlerde saf hidrojen için özel boru hatlarının yapımı düşünülebilir.
- Avrupa gaz şebekesine hidrojen enjeksiyonun sağlıklı sağlanabilmesi için teknik ve yasal mevzuatın geliştirilmesi gerekmektedir.

13. Kaynakça

- [1]<https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/future-transport/hydrogen.html>
- [2]<https://www.dnvgl.com/oilgas/perspectives/evaluating-hydrogen-as-an-energy-carrier.html>
- [3]<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118306531>
- [4]Hydrogen Europe Vision on the Role of Hydrogen and Gas Infrastructure on the Road Toward a Climate Neutral Economy – A Contribution to the Transition of the Gas Market Report
- [5]<https://gasforclimate2050.eu/>
- [6]<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319918337960>
- [7] <https://thyga-project.eu/>
- [8]Messaoudani ZI, Rigas F, Binti Hamid MD, Che Hassan CR. Hazards, safety and knowledge gaps on hydrogen transmission via natural gas grid: a critical review. Int J Hydrog Energy 2016;41(39):17511–25.
- [9]Taamallah S. and friends Fuel flexibility, stability and emissions in premixed hydrogen-rich gas turbine combustion: technology, fundamentals, and numerical simulations. Appl Energy 2015;154:1020e47.
- [10]Scamman D, Hyde K, Newborough M, Cooley G. Power-to-gas: a UK feasibility study, Report. United Kingdom: ITM Power plc; 2013
- [11]HSE and OFGEM, 10 year review of the iron mains replacement programme, Report, HSE and OFGEM. 2011.
- [12]Chaczykowski Maciej, Zarodkiewicz Paweł. Simulation of natural gas quality distribution for pipeline systems. Energy 2017;134:681e98
- [13]Hodges JP, Geary W, Graham S, Hooker P, Goff R. Injecting hydrogen into the gas network - a literature search, Report. Health and Safety Laboratory; 2015.
- [14]IRENA (2018), Hydrogen from renewable power: Technology outlook for the energy transition
- [15]<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261917302064>
- [16]https://ieaghg.org/docs/General_Docs/Reports/Ph424%20Hydrogen%20in%20nat%20gas.pdf
- [17]<https://www.northerngasnetworks.co.uk/wp-content/uploads/2017/04/H21-Report-Interactive-PDF-July-2016.compressed.pdf>
- [18]<https://www.h21.green/news/uk-public-being-left-behind-in-green-energy-discussion-leeds-beckett-university-hydrogen-study-reveals/>
- [19]Hydrogen Roadmap for Europe, Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking, 2019
- [20]<https://www.entsog.eu/power-gas>