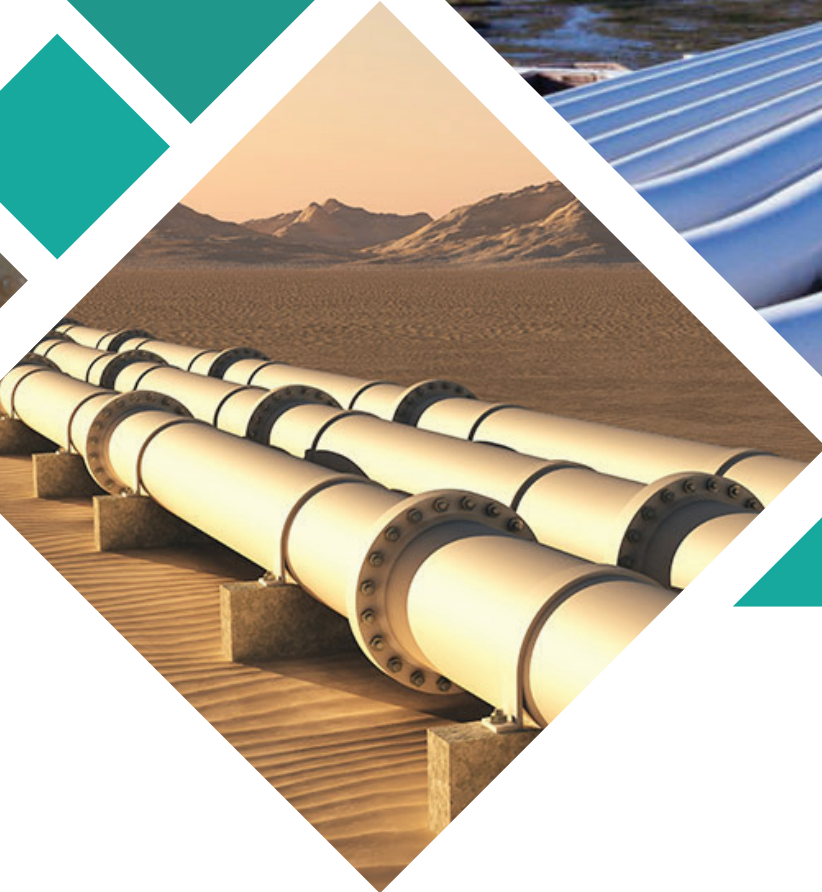


# GAZBİR DOĞAL GAZ SEKTÖRÜ HİDROJENE GEÇİŞTE YOL HARİTASI ÖNERİLERİ



Mart 2021

# GAZBİR

## Doğal Gaz Sektörü

## Hidrojene Geçişte

# Yol Haritası Önerileri

### MART 2021

#### Hazırlayanlar

Mustafa Ali AKMAN

Mehmet Kürşad MARANCI

Mehmet Şerif SARIKAYA

#### Yayınlayan

Türkiye Doğal Gaz Dağıtıcıları Birliği (GAZBİR)

#### Teşekkürler

Türkiye'nin ilk Power to Gas projesinin hayata geçirilmesinde desteklerini esirgemeyen Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'na ve bu rapora sunmuş oldukları değerli katkılardan GAZBİR-GAZMER teknik ekibine ve Clean Gas Türkiye proje ekibine teşekkür ederiz.

## ÖNSÖZ

Dünya’da enerjiye olan ihtiyacın her geçen gün artması ile iklim değişikliği gerçeğinin tüm dünya ülkeleri tarafından kabul edilmeye başlanması, buna bağlı olarak karbon emisyon hedeflerinin belirlenmesi, sektörlerin tüm paydaşları tarafından düşük karbon hedefli yeni çözümlerin geliştirilmesini teşvik etmektedir. Dünya’da ve ülkemizde en temiz fosil kaynaklardan biri olan doğal gaz yatırımları devam ederken diğer taraftan karbon emisyonsuz enerji çözümleri arayışı da sürmektedir.

Kullanılmayan yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirmemize olanak tanıyan hidrojen bu noktada etkili bir karbondan arındırma unsuru olarak öne çıkmaktadır.

Son 30-40 yıllık süreçte hidrojen üretimine ilişkin teknolojilerin gelişmesi ile küresel enerji ve kimya sektörlerinde talebin artışına bağlı olarak hidrojen ekonomisi her geçen gün büyümekte, alternatif çevreci bir yakıt olarak farklı sektörlere entegre edilme çalışmaları önem kazanmaktadır.

Doğal gaz kullanımının yaygınlaşması ile son 3 yılda sadece hanelerde 100 milyon ton civarında emisyon tasarrufu, 20 milyon ton civarında zararlı maddelerin doğaya salınması engellenmiştir. Daha temiz, karbonsuz bir geleceğe doğru ilerlerken, diğer tüm fosil yakıtlara kıyasla daha düşük emisyon değerine sahip doğal gazın hidrojen ile daha düşük emisyon değerine ulaşabileceği görülüyor.

Birçok ülkede tartışma ve kısmi uygulama aşamasında olan doğal gaz sistemlerine hidrojen enjeksiyonu konusu, Türkiye doğal gaz sektörü tarafından yakın şekilde takip edilmektedir. 157 bin km’lik şebeke uzunluğu ile Avrupa’nın en büyük 6’ncı şebekesine sahip Türkiye genç, modern

dağıtım şebekesi ve düşük kayıp oranları ile hidrojen ekonomisine geçişin en kolay sağlanabileceği ülkelerden biri olacaktır.

Türkiye Doğal Gaz Dağıtıcıları Birliği (GAZBİR)’in teknik merkezi GAZBİR-GAZMER, doğal gaz hatlarına hidrojen enjeksiyon teknolojilerinin araştırılması ve geliştirilmesine yönelik çalışmalarına 2018 yılında başlamıştır.

GAZBİR-GAZMER’in yürütmekte olduğu yenilenebilir gaz üretim projesinin ilk fazı tüm hızıyla devam etmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) ile hazırlanan Ar-Ge projesi Konya’daki Temiz Enerji Merkezi’nde sürdürülüyor. Bu proje ile ülkemizde ilk defa doğal gaz ile hidrojenin karıştırılarak evsel tüketimde kullanılması hayata geçirilmiştir. Çalışmanın ilk fazında doğal gaz hidrojen karışımının yakıcı cihazlar üzerindeki etkisi ölçülmektedir. Proje ile çevreye etkileri azaltılmış ve karbonsuzlaştırma çabalarına katkı sağlayacak bir çözüm geliştirilmesi hedeflenmektedir. Çalışmanın sonuçları hem akademik alanda hem de endüstriyel alanda yol gösterici raporlarla ortaya konulacaktır.

Bugün Türkiye’nin 81 ilinde 72 doğal gaz dağıtım şirketi tarafından 17,5 milyon doğal gaz abonesine kesintisiz hizmet sağlanmaktadır. Gelecekte tüm abonelerimizin doğal gazın yanı sıra hidrojeni daha etkin şekilde kullanabilmesi için tüm teknik ve güvenlik testlerini Ar-Ge merkezlerimizde gerçekleştiriyoruz.

Teknik merkezimiz GAZBİR-GAZMER tarafından Türkiye doğal gaz sektöründe emniyetli ve güvenli bir hidrojen geçişinin sağlanabilmesi için orta ve uzun vadeli hedeflerin belirlenmesine yönelik olarak

hazırlanan çalışmanın ülkemiz ve sektörümüz için yol gösterici olmasını temenni ediyor, projenin hayata geçirilmesinde desteklerini esirgemeyen başta Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve EPDK olmak üzere tüm kamu kurum ve kuruluşları ile, emeği geçen GAZBİR-GAZMER teknik çalışanlarına teşekkür ediyorum.

**Yaşar ARSLAN**

**Türkiye Doğal Gaz Dağıtıcıları Birliği  
(GAZBİR) Başkanı**

## ÖZET

Ülkeler, iklim değişikliği ile mücadele etmede birçok enerji türünü değerlendirmekte ve uygulamaktadır. Bu süreçte başarılı bir enerji geçişi için karbondan arındırılmış hidrojen kullanımı, ülkelerin son zamanlarda ilgisini çekmeye başladı. Hidrojenin geniş uygulama yelpazesi sunması tercih edilebilirliğini arttırmaktadır. Oluşturulan ulusal hidrojen stratejilerinde birçok uygulama alanına yönelik hedefler belirlenmiştir. Bu noktada doğal gaz şebekeleri de önemli uygulama alanı olarak görülmektedir.

Ulusal hidrojen stratejilerindeki hedeflere ulaşılmasında doğal gaz altyapılarına çok büyük roller düşmektedir. Hidrojenin taşınmasında, nihai kullanıcıya ulaştırılmasında, depolanmasında ve karbonsuzlaştırma çalışmalarında doğal gaz şebekeleri kritik rol üstlenmektedir.

Hidrojenin gaz şebekesine entegre edilmesi ile düşük karbonlu ekonomiye geçişi kolaylaştıracağı ve doğal gaz altyapılarının sürdürülebilirliğini sağlanmasına önemli katkılar sunması beklenmektedir. Bu amaç doğrultusunda, birçok ülkede doğal gaz sistemlerinde hidrojen kullanımının önündeki engellerin kaldırılması için projeler yürütülmekte ve yol haritaları hazırlanmaktadır.

Türkiye doğal gaz sektöründe arz güvenliği ve enerji verimliliğini sağlayarak dışa bağımlılığı azaltacak ve karbon emisyonlarını düşürecek olan süreci başlatmak için Türkiye'nin ulusal enerji ve iklim hedefleri ile uyumlu hidrojene geçiş stratejisinin oluşturulmasını tavsiye etmekteyiz.

Bu çalışmada, ülkelerin ulusal hidrojen stratejileri, ulusal hidrojen stratejilerinde doğal gaz altyapısının rolü, doğal gaz

sistemlerinde hidrojene geçiş politikaları ve hedefleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler ve Konya'daki Temiz Enerji Merkezi'nde yürütülen doğal gaz hidrojen enjeksiyon çalışmaları esas alınarak **“GAZBİR Doğal Gaz Sektörü Hidrojene Geçişte Yol Haritası Önerileri”** hazırlanmıştır.

Strateji belgesi kapsamında, Türkiye doğal gaz sektöründe emniyetli ve güvenli bir hidrojen geçiş stratejisinin hazırlanması için 9 ana başlık altında değerlendirilme yapılmıştır.

- Çalışma Grubu Oluşturulması
- Gaz Kalitesi ve Güvenlik
- Teknik Uyum Çalışmaları
- Geçiş ve Entegrasyon Süreci
- Doğal Gaz Kullanıcıları
- İnsan Kaynağı
- Ar-Ge ve Yatırım
- Mevzuat Çalışmaları
- Pazar Oluşumu

Yapılan değerlendirmeler neticesinde 2050 yılına kadar Türkiye doğal gaz sektöründe hidrojene geçiş için 4 aşamalı bir yol haritası önerisinde bulunulmuştur;

- 2021 – 2025: Ar-Ge çalışmaları
- 2025 – 2030: Küçük ölçekli entegrasyon – Düşük hidrojen konsantrasyonu
- 2030 – 2040: Yeni altyapılar - Hidrojen konsantrasyonunda artış
- 2040 – 2050: %100 Hidrojene uyumlu gaz altyapısı

## İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ .....	5
2. ULUSAL HİDROJEN STRATEJİLERİ .....	7
2.1. AB Hidrojen Stratejisi .....	8
2.2. Almanya Hidrojen Stratejisi .....	10
2.3. İspanya Hidrojen Stratejisi .....	10
2.4. Fransa Hidrojen Stratejisi .....	11
2.5. Japonya Hidrojen Stratejisi .....	11
2.6. Avustralya Hidrojen Stratejisi .....	11
2.7. Kanada Hidrojen Stratejisi .....	12
2.8. Ulusal Hidrojen Stratejilerinin Uygulanabilirliği .....	13
3. HİDROJENE GEÇİŞTE DOĞAL GAZ ALTYAPISI .....	13
3.1. Avrupa Birliği .....	16
3.2. Birleşik Krallık .....	19
3.3. Almanya .....	21
3.4. Fransa .....	22
3.5. Hollanda .....	22
3.6. Portekiz .....	23
3.7. Avustralya .....	24
3.8. Kanada .....	25
3.9. ABD .....	25
3. TÜRKİYE DOĞAL GAZ SEKTÖRÜNDE HİDROJEN ÇALIŞMALARI .....	26
4.1. Neden Yol Haritası? .....	28
4.2. Doğal Gaz Sistemlerinde Hidrojene Geçiş Stratejisi Önerisi .....	29
4.2.1. Çalışma Grubu Oluşturulması .....	29
4.2.2. Gaz Kalitesi ve Güvenlik .....	30
4.2.3. Teknik Uyum Çalışmaları .....	31
4.2.4. Geçiş ve Entegrasyon Süreci .....	33
4.2.5. Doğal Gaz Kullanıcıları .....	34
4.2.6. İnsan Kaynağı .....	34
4.2.7. Ar-Ge ve Yatırım .....	34
4.2.8. Mevzuat Çalışmaları .....	36
4.2.9. Pazar Oluşumu .....	37
4.3 Hedefler .....	37
5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME .....	38
6. KAYNAKÇA .....	40

## 1. GİRİŞ

Paris İklim Anlaşması ile küresel ısınmanın sanayileşme öncesi seviyelerin üzerinde olan 2°C'nin oldukça altında tutulması ve hatta sıcaklık artışının 1,5 dereceyle sınırlı tutulmasını hedeflenmektedir. Bu hedefe ulaşılmasında 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.

Çeşitli kaynaklardan üretilebilen hidrojen, bir enerji kaynağı olmayıp bir enerji taşıyıcısıdır. Geçmişten günümüze, hidrojen ağırlıklı olarak fosil yakıtlardan üretilmektedir. Mevcut hidrojen üretiminin %95'inden fazlası fosil yakıt temelli olup, buhar-metan reformu (SMR) ise hidrojen üretiminin en yaygın yoludur. Petrol ve kömür gazlaştırma, SMR' den daha az bir ölçüde de olsa, özellikle Çin ve Avustralya' da yaygın olarak kullanılmaktadır. Küresel hidrojen arzının yalnızca yaklaşık %4'ü elektroliz yoluyla üretilmektedir<sup>1</sup>.

Hidrojen, düşük karbon ayak iziyle üretilmesi halinde etkili bir karbondan arındırma unsuru olabilir. Ulaşımın, endüstrinin, binaların ve elektrik üretiminin karbondan arındırılması için yenilenebilir kaynaklardan veya karbon yakalama depolama (CCS) teknoloji ile fosil yakıtlardan elde edilen hidrojen kullanımı en etkili yollardan biridir;

- Ulaşımda yakıt olarak hidrojen kullanımı. Ulaşım sektöründeki

kamyonlar, otobüsler, gemiler, trenler, büyük arabalar ve ticari araçlar için hidrojen en umut verici karbonsuzlaştırma seçeneğidir. Özellikle büyük araçların elektrikli modellerinde yaşanan yüksek başlangıç maliyetleri ve batarya problemleri göz önüne alındığında...

- Endüstride ise, yüksek kaliteli ısı üretimi, çeşitli işlemlerde hammadde olarak ve endüstriyel süreçlerin karbondan arındırılması için hidrojen kullanılabilir.
- Binalarda ısıtma amacıyla kullanılan doğal gaz yerine kısmi veya tamamen hidrojen kullanılarak karbon salımı azaltılabilir.
- Elektrik üretiminde fosil yakıtlı santrallerin yerini H<sub>2</sub> yakıtlı türbinlerin ya da H<sub>2</sub> yakıt hücreli sistemlerin almasıyla elektrik üretim kaynağının karbondan arındırılması sağlanabilir.

Düşük karbonlu bir enerji geleceğinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde hidrojen alternatif yollar sunmaktadır. Hidrojen enerji taşıyıcısı olma noktasında her geçen gün daha fazla ivme kazanmaktadır. Özellikle endüstri, ulaşım, ısınma ve enerji alanındaki karbondan arındırma hedeflerinin başarıya ulaşmasında yenilenebilir kaynaklardan elde edilen yeşil hidrojen kritik bir role sahip olabilir.

Hidrojen aynı zamanda, çeşitli yenilenebilir enerjilerden elde edilen üretim fazlası elektriğin depolanması için etkili bir

yöntem sunarak yenilenebilir enerjilerin daha çok yaygınlaşmasını kolaylaştırır.

Hidrojenin gaz şebekesine entegre edilmesinin, düşük karbonlu ekonomiye geçişi kolaylaştıracağı öngörülmektedir. Gaz altyapısı, hidrojenin sağlamış olduğu katkıları öne çıkarmada merkezi bir öneme sahiptir. Örneğin;

- Enerji sistemindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılmasını desteklemesi,
- Ulaşım, uzun vadeli ve mevsimlik enerji depolama, enerji sisteminin dengesi ve tedarik güvenliği için uygun maliyetli seçenekler sunması,
- Gaz altyapısının ve nihai kullanımlarının karbondan arındırılması vb.

Durumlar hidrojenin sistematik rolünü ortaya çıkarmada gaz altyapısının kilit bir role sahip olduğunu göstermektedir<sup>2</sup>.

Hidrojen gelecekte ülkeler için sadece düşük karbonlu hedeflere ulaşmada kullanılan bir seçenek değil, aynı zamanda ihracat seçeneği de sunacaktır. Özellikle düşük maliyetle yenilenebilir enerji üretiminde uygun koşullara sahip ülkeler hidrojen ihracatı ile ilerleyen yıllarda ekonomilerine ciddi bir katkı sağlayabilirler.

Son on yıl içerisinde hidrojene ayrılan Ar-Ge bütçelerinin artırılması ile dünyanın birçok yerinde hidrojen üretim maliyetinin azaltılması ve mevcut sistemlere entegrasyonunun kolaylaştırılmasına yönelik pilot Ar-Ge projeleri geliştirildi. Geliştirilen bu projeler gelecekte hidrojen kullanımı noktasında olumlu sonuçlar vermektedirler. Hidrojen pilot projelerinin

ve politikalarının geliştirilmesine yönelik ilginin artması neticesinde, hidrojen dünya çapında devletlerin gündemlerinde önemli bir enerji konusu haline gelmeye başladı. Ağırlıklı Avrupa ülkeleri olmak üzere on ülke kendi ulusal hidrojen stratejisi oluşturdu, yaklaşık 11 ülke ulusal hidrojen stratejisi hazırlığı içerisinde ve otuzun üzerinde ülkede ise hidrojen projeleri desteklenmekte veya politik tartışmalar devam etmektedir.

Türkiye’de ise kamu tarafından yayınlanmış bir hidrojen stratejisi bulunmamaktadır ama hidrojenin kullanım potansiyelinin değerlendirilmesi küçük ölçekte yürütülen projeler ve politik tartışmalar ile devam etmektedir.

Bu rapor kapsamında hidrojenin öncelikli uygulama alanlarından biri olarak görülen doğal gaz sektöründeki hidrojen çalışmaları ve stratejileri incelenerek, Türkiye doğal gaz sektörü hidrojen geçiş strateji önerisinde bulunulmuştur.



## 2. ULUSAL HİDROJEN STRATEJİLERİ

Ülkeler, iklim değişikliği ile mücadele etmede birçok enerji türünü değerlendirmekte ve uygulamaktadır. Bu süreçte başarılı bir enerji geçişi için karbondan arındırılmış hidrojen kullanımı, hükümetlerin son zamanlarda ilgisini çekmeye başladı.

Düşük karbonlu bir yakıt olarak hidrojenin kullanımı, küresel enerji tartışmalarında giderek daha belirgin bir rol üstlenmektedir. Örneğin, 2019'daki Osaka G20 liderleri Zirvesi'nde ve birçok uluslararası enerji toplantılarında, hidrojen teknolojilerinin temiz enerji geçişlerini sağlamak için kritik öneme sahip olduğunu vurgulandı<sup>3</sup>.

Temiz enerjiye geçişte hidrojen teknolojisinin yaygınlaşması büyük önem arz etmektedir. Hidrojenin yüksek yatırım ve üretim maliyetleri, hidrojen pazarının gelişme hızını etkilemektedir. Daha önceleri de yenilenebilir elektrik üretim teknolojilerindeki yüksek maliyetler, devlet fonları ve hedefleri ile aşılmış olup şimdilerde ise yatırımların büyük çoğunluğu özel sektör tarafından sağlanmaktadır. Bu durum ilerleyen yıllarda hidrojen sektörü için de mümkün olabilir. Rüzgar ve güneş piyasalarında yaşanan durum gibi, hidrojen için de işler hızla değişebilir.

Şu durum açıkça belirtmeli ki, karbondan arındırılmış hidrojen pazarının gelişme hızı, tamamen hükümetlerin hidrojenin karbondan arındırılması için mevcut ve gelecekteki pazarlara ne kadar hızlı ihtiyaç duyduğuna bağlı olacaktır. Devlet katkısı

olmadan da yeşil ve mavi hidrojen için bir pazarın oluşması pek mümkün görünmemektedir<sup>4</sup>.

Hidrojen Konseyi tarafında ise hidrojenin gelecek perspektifi olarak, önümüzdeki yıllarda hidrojen için küresel talebin en az on kat artması, 2050 yılına kadar küresel hidrojen sektörünün yılda 2,5 trilyon ABD doları değerinde bir pazar, 30 milyon yeni iş imkanının olması tahmin edilmekte<sup>5</sup>.

Pazar artışının ise üç aşamada gerçekleşmesi beklenmekte; mevcut on yılda pazar aktivasyonu, 2030'dan sonra sürdürülebilir büyüme ve 2050'ye kadar büyük ve köklü bir pazar<sup>6</sup>.

Hidrojenin devletlerin ilgisini çekmesindeki ana sebebin temiz enerjiye geçiş gibi gözükse de, enerji arzı ve ekonomik sebepler de bu duruma katkı sağlamaktadır.

- Enerji Arzı Açısından: Hidrojen, yerli üretim veya ithalat yoluyla mevcut fosil yakıt bağımlılığını azaltarak enerji arzını çeşitlendirmeye katkı sağlayabilir.
- Ekonomik Açıdan: Hidrojen üretimi, kullanımı ve teknolojisi geliştirilerek yeni iş imkanlarının oluşturulması ve hidrojen ihracatı ile ulusal ekonomik katkılar sağlanabilir.

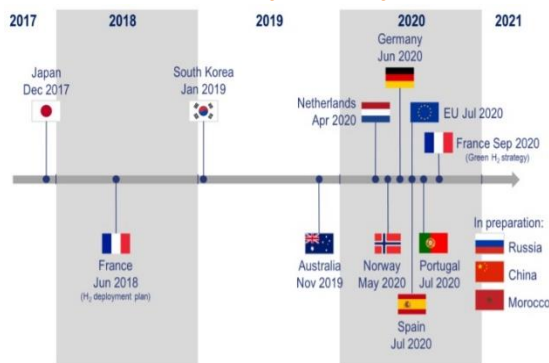
Mevcut ve hazırlık aşamasında olan ulusal hidrojen stratejileri incelendiğinde, 2015

Paris Anlaşması kapsamındaki sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik ulusal taahhütleri yerine getirme çözümünün ve yenilenebilir rüzgar ve güneş enerjisinin mevcut fosil yakıtlı sistemlere entegrasyonun bir parçası olarak görülmekte<sup>7</sup>.

Dünya Enerji Konseyi Almanya tarafından hazırlanmış olan “*Uluslararası Hidrojen Stratejileri*” raporunda küresel GSYİH'nin %90'ından fazlasını temsil eden 56 ülkenin hidrojen çalışmaları incelenmiştir. Rapora göre 9 ülke kendi ulusal hidrojen stratejisi oluşturmuş, 11 ülkede ulusal hidrojen stratejisi geliştirme aşamasındadır. Bu 20 ülke küresel GSYİH'nin %44'ünü temsil etmektedir. GSYİH'nin %38'ini temsil eden 14 ülkede hidrojen pilot projeleri desteklenmektedir. 17 ülkede ise hidrojen konusu değerlendirme aşamasındadır. Hidrojen stratejileri ve uygulamaları noktasında özellikle Avrupa ülkelerinin öncü olduğu görülmektedir.

2017 yılında ilk Japonya'nın ilan etmesiyle başlayan ulusal hidrojen stratejileri 2020 yılı sonu Kanada'nın da ilan etmesi ile birlikte 12 ülkeye ulaşmıştır. 2021 yılında Rusya, Çin ve Fas'ın ulusal hidrojen stratejilerini açıklaması beklenmektedir.

### Resim 1. Ulusal Hidrojen Stratejileri



Kaynak: World Energy Council Germany

Ulusal hidrojen stratejilerinde, düşük karbonlu hidrojen üretiminden daha çok yenilenebilir kaynaklardan elde edilen yeşil hidrojen kullanımına odaklanılmaktadır. Ulusal stratejilerde 2050 için hidrojen talebinin küresel düzeyde yılda yaklaşık 270 milyon ton hidrojen olması öngörülmekte. Tahmin edilen bu talep, şu anda küresel düzeyde yenilenebilir kaynaklar tarafından sağlanan yıllık enerji miktarına denk gelmektedir<sup>6</sup>.

Ulusal hidrojen stratejilerindeki hedeflerine bakıldığında öne çıkan ana hedefler şunlardır;

- Karbon Emisyonu Azaltımı
- Enerji Arzı Çeşitliliği
- Ekonomik Büyüme Teşvik Etmek
- Ulusal Hidrojen Teknolojisinin Gelişimini Desteklemek
- Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu
- İhracat için Hidrojen Teknolojisinin Geliştirilmesi

Bu rapor çalışması ile bazı ulusal hidrojen stratejilerinin genel kapsamı ve hedefleri incelenmiştir.

### 2.1. AB Hidrojen Stratejisi

8 Temmuz 2020'de Avrupa komisyonu enerji sistemi entegrasyonu stratejisine paralel olarak Avrupa hidrojen stratejisini açıklamıştır.

AB, hidrojenin kullanım alanları olarak önceliğini sanayi ve ulaşım sektörüne vermiştir. İkincil öncelikli kullanım alanı olarak konut ısıtmalarında ve elektrik üretimi sektörlerini belirlemiştir.

Hidrojen üretimi noktasında AB'nin önceliği, ağırlıklı olarak rüzgar ve güneş enerjisi kullanılarak üretilen yenilenebilir hidrojeni geliştirmektir. Yenilenebilir hidrojen, uzun vadede AB'nin iklim nötrlüğü ve sıfır kirlilik hedefi ile en uyumlu seçenek olarak görülmekte. Bu geçiş süresi boyunca fosil yakıtlardan elde edilen hidrojene de desteğin devam edeceği belirtilmektedir.

AB hidrojen stratejisi kısa, orta ve uzun dönemli hedeflerden oluşmaktadır<sup>8</sup>;

2020 - 2024 yılı kısa dönem,

- En az 6 GW yenilenebilir hidrojen elektrolizörü kurulması,
- Çelik, kimyasal ve ulaşım sektörlerine öncelik verilmesi,
- 1 milyon ton yenilenebilir hidrojen üretimi,
- Doğal gazla karışım çalışmalarının devam etmesi
- Orta ölçekli hidrojen iletim altyapısı planlamasına başlanması

2025 - 2030 yılı orta dönem,

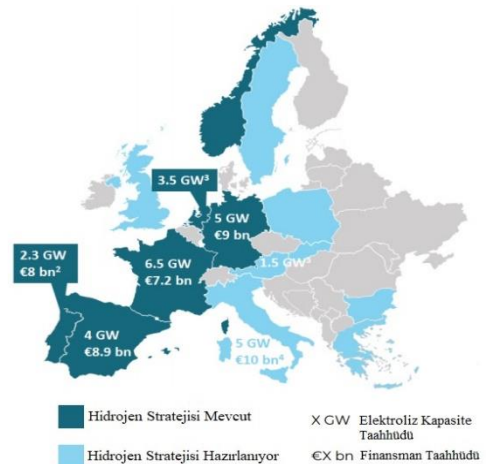
- En az 40 GW yenilenebilir hidrojen elektrolizörü kurulması,
- 10 milyon ton yenilenebilir hidrojen üretimi,
- Yenilenebilir hidrojenin diğer hidrojen üretim biçimleriyle kademeli olarak maliyet açısından rekabetçi hale gelmesi beklenmektedir,
- Karbon yakalama ve depolama teknolojisi ile mevcut fosil bazlı hidrojen üretiminin daha da güçlenmesi beklenmektedir,

- Bölgesel bazda hidrojen kümelenmeleri veya hidrojen vadilerinin oluşturulması,
- Oluşacak lojistik altyapı ihtiyacı için mevcut doğal gaz altyapısının kullanımı, yeni altyapı ve depolama tesislerinin geliştirilmesi,
- Hidrojen yakıt istasyon ağlarının geliştirilmesi,
- 1 milyondan fazla yeni istihdam ve 150 milyar €'luk pazarın oluşması öngörülmekte<sup>9</sup>,

2031 - 2050 yılı uzun dönem,

- AB nihai enerji talebinin %24'ünü karşılayabilir ve 5,4 milyon yeni iş imkanı oluşabilir (H)
- Yenilenebilir hidrojene yapılan yatırımlar 180-470 milyar €'ya kadar ve düşük karbonlu fosil bazlı hidrojen için 3-18 milyar € aralığında olabilir,
- 2050'ye kadar CO<sub>2</sub> emisyonunda yaklaşık 560 Mt azalma sağlanabilir,
- 820 milyar €'luk bir endüstrinin oluşması beklenmektedir,

**Resim 2. Avrupa Ulusal Hidrojen Stratejileri**



*Kaynak: Hydrogen Europe*

Yenilenebilir hidrojen üretimi için Fransa, Almanya ve Portekiz'den açıklanan kamu finansmanı 17,2 milyar €'dur. İtalya, Portekiz ve İspanya'dan planlanan mobilize yatırım olarak 25,9 milyar € açıklandı.

## 2.2. Almanya Hidrojen Stratejisi

Avrupa'daki en büyük hidrojen pazarı Almanya'da bulunmaktadır. Hidrojen üretiminin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan sağlanmakta olup, tüketiciler ise ağırlıklı olarak kimya endüstrisi ve rafinerilerdir.

2020 yılı Haziran ayında hidrojen stratejisini açıklayan Almanya, AB gibi hidrojenin öncelikle sanayi ve ulaşım sektöründe kullanımına öncelik vermiş, konutlarda ve elektrik üretiminde kullanımı ise daha az önceliklidir.

Almanya hidrojen stratejisi 2020-2025-2030 ve sonrası şeklinde sektörel bazlı hedeflerden oluşmaktadır<sup>10</sup>;

- Yerli hidrojen üretiminin desteklenmesi, uzun vadede hidrojen ithalatı söz konusu olabilir,
- Hidrojen teknolojileri üzerine Ar-Ge yatırımlarının artırılması ve ilerleyen yıllarda teknoloji ithalatının gerçekleştirilmesi,
- 2030 yılına kadar kimya, çelik endüstrisi ve rafinerilerde yatırımların artırılması,
- Ulaşım sektöründe 2030 yılına kadar trenlerde ve kamyonlarda hidrojen kullanımının yaygınlaştırılması, 2030 sonrası hava ve deniz ulaşım araçlarında yaygınlaştırılması,

- 2030 yılına kadar doğal gaz - hidrojen karışım gazının bazı bölgelerde uygulanması,
- 2025 yılı sonrası hidrojenden elektrik üretimi için pilot uygulamalarının yapılması,
- 2030'a kadar 5 GW, 2035-2040 arası ise 10 GW yenilenebilir hidrojen üretimi beklenmektedir,
- Hidrojen sektörüne 12 milyar €'luk yatırım yapılması beklenmektedir,

## 2.3. İspanya Hidrojen Stratejisi

2020 yılının Nisan ayında yenilenebilir hidrojen stratejisini açıklayan İspanya, hidrojenin sanayi ve ulaşım sektöründe kullanımı ve ihracatı konusunda hedefler belirlemiştir.

2030 yılına kadarki yenilenebilir hidrojen hedefleri<sup>11</sup>;

- Mevzuat, sanayide kullanım, toplumda yenilenebilir hidrojen farkındalığı ve Ar-Ge olmak üzere 4 ana başlıktan oluşan 60 farklı çalışma grubunun oluşturulması,
- 2030 yılına kadar 8,9 milyar € yatırım,
- Elektrolizörlerde 4 GW kurulu kapasite (2024'e kadar 300-600 MW),
- Endüstriyel hidrojen tüketiminin %25'inin yeşil hidrojenden karşılanması,
- 150-200 otobüs, 5-7 bin hafif ve ağır hizmet aracı, 2 ticari demiryolu hattında kullanımı,
- 100-150 hidrojen yakıt ikmal istasyonunun kurulması,

## 2.4. Fransa Hidrojen Stratejisi

Fransa 2020 yılında karbondan arındırılmış hidrojenin geliştirilmesine yönelik ulusal stratejisini yayınladı. Fransa hidrojen kullanım alanlarını, sanayi, ulaşım, elektrik üretimi ve konutlar olarak belirlemiştir.

Fransa hidrojen stratejisinde öne çıkan hedefler<sup>12</sup>;

- 2030 yılına kadar karbondan arındırılmış hidrojen endüstrisi geliştirmek için 7,2 milyar Euro kamu yatırımı ayrılmıştır. Bunun 2 milyar Euro'luk kısmının 2020-2022 döneminde ve 3.4 milyar Euro'luk kısmının 2023'e kadar kullanılması planlanmaktadır (bunun %54'ü endüstriye, %27'si ulaşım sektörüne ve % 19'u Ar-Ge için),
- 2030 yılına kadar endüstrideki atmosferik karbondioksit emisyonlarının yılda 53 milyon tona düşürülmesi,
- 2030 yılına kadar Fransa'da 6,5 GW kurulu elektrolizör kapasitesine ulaşılması,
- Hidrojen alanındaki yeni teknolojilerin sanayileşmesini teşvik etme,
- Hidrojen yakıt istasyonlarının ve kamyonlarda-trenlerde hidrojen kullanımının yaygınlaştırılması,

## 2.5. Japonya Hidrojen Stratejisi

Japonya ulusal hidrojen stratejisini açıklayan ilk ülkedir. Hidrojeni konut, ulaşım ve elektrik üretim sektöründe kullanımına öncelik verilmiştir.

Japonya hidrojen stratejisinde öne çıkan hedefler<sup>13</sup>;

- 2030 yılında tam ölçekli hidrojen üretiminin başlatılması ve 2050 yılına kadar CO<sub>2</sub>'siz hidrojenin tam teşekküllü ev içi kullanımının gerçekleştirilmesi,
- 2025 yılına kadar 200.000 yakıt hücreli araç, 2030'a kadar 800.000 yakıt hücreli araç ve 1.200 yakıt hücreli otobüsün trafikte olması,
- 2025 yılına kadar 320 hidrojen yakıt ikmal istasyonu ve 2030'a kadar 900 yakıt ikmal istasyonu,
- 2030'dan itibaren Japonya, uluslararası hidrojen tedarik zincirlerini genişletecek, 2030'a doğru hidrojen maliyeti 2,7 €/kg olması 2030 sonrası için 1,8 €/kg düşmesi hedeflenmektedir,
- 2030'dan itibaren kıyı bölgelerindeki yerel hidrojen ağlarının işletilmesi,
- 2032 yılına doğru Power to Gas sistemlerini ticarileştirmeyi hedefliyor,
- 2030'a kadar yaklaşık 1 GW ve uzun vadede 15 ila 30 arası GW hidrojen üretimi,

## 2.6. Avustralya Hidrojen Stratejisi

2019 yılında hidrojen stratejisini açıklayan Avustralya, hidrojenin birçok alanda kullanılması öngörülmüştür. Özellikle sanayi, elektrik üretimi, ulaşım ve konutlarda kullanımı önceliklidir. Harici olarak hidrojen ihracatı da stratejik planda önemli bir yere sahiptir.

Stratejik plan, 2025 öncesi ve sonrası hedeflenen faaliyetlerden oluşmaktadır. 2025'e kadar olan süreçte, temel faaliyetleri pilot projeler oluşturmaktır. 2025 sonrası dönemdeki faaliyetler büyük ölçekli piyasa aktivasyonuna odaklanmıştır<sup>14</sup>.

2025 öncesi faaliyetler:

- Pilot projeleri başlatmak,
- Tedarik zinciri altyapı ihtiyaçlarının değerlendirilmesi,
- Pilot ölçekli hidrojen merkezleri inşa etmek,
- Olası hidrojen merkezleri için tedarik zincirlerinin geliştirilmesi,

2025 sonrası faaliyetler:

- Büyük ölçekli hidrojen pazarlarının oluşumu için altyapı hazırlıklarının yapılması,
- İhracatı ve yerel ihtiyaçları desteklemek için projeleri büyütme,
- Avustralya hidrojen tedarik zincirlerinin ve büyük ölçekli ihracat endüstrisi altyapısının oluşturulması,
- Sağlam ve sürdürülebilir ihracat, iç pazarlar ve tedarik zincirleri oluşturmak ve sürdürmek ,
- Açık kamu yararına sahip rekabetçi iç pazarların sağlanması,

## 2.7. Kanada Hidrojen Stratejisi

2020 Aralık ayında hidrojen stratejisini açıklayan Kanada, dünyanın en büyük 10 hidrojen üreticisinden biridir. Stratejide karbon emisyonları azaltılması ana hedef olmak üzere hidrojenin birçok sektörde kullanılması planlanmaktadır. Bu stratejik plan ile Kanada'yı küresel bir hidrojen

tedarikçisi haline getirilmesi de hedeflenmektedir.

Kanada hidrojen strateji kısa, orta ve uzun vadeli hedeflerden oluşmaktadır<sup>15</sup>;

2020-2025 kısa vadeli hedefler:

- Hidrojen tedarikinin geliştirilmesi ve altyapının dağıtımının kapsamlı planlanması,
- Sektörel bazda hidrojen kümelenmelerinin gelişmesinin ve büyümesinin desteklenmesi,
- Ticari pazar öncesi bölgesel pilot projelerin desteklenmesi,

2025-2030 orta vadeli hedefler:

- Hidrojen sektörünün büyümesinin ve çeşitlendirilmesinin teşvik edilmesi,
- Endüstriyel kümelenmeler, hidrojen kullanımının diğer sektörlere ve bölgelere yayılması için başlangıç noktaları olarak hizmet edecek.
- Endüstriyel uygulamalar için inşa edilen üretim tesisleri ve altyapı, konut ısıtması, hidrojen yakıt ikmal istasyonları veya dağıtılabılır enerji üretimi için hidrojen sağlamak üzere genişletilmesi,
- Hidrojen/doğal gaz karışımlarının sanayide, kimyasal üretim ve hidrokarbon iyileştirme içinde hammadde olarak kullanılmasına izin verilerek bölgesel hublarda ticarileştirilecek,

2030-2050 uzun vadeli hedefler:

- Stratejinin uzun vadeli hedefi pazarın genişlemesidir,
- Yeni ulaşım uygulamalarının ticari kullanıma hazır hale gelmesi ve

sektörün bu dönemde hızla büyümesi gerekmektedir,

- 350.000'den fazla yeni istihdam imkanı,
- 50 milyar dolar üstü sektörel gelirin oluşması,
- Dünya'da hidrojen üretiminde ilk üçte yer almak,
- 190 Mt CO<sub>2</sub>'ye kadar yıllık sera gazı azaltımı,
- 5 milyon üzerinde yakıt hücreli aracın kullanımı,
- Kanada enerji sisteminin %30'unu oluşturması,
- Doğal gaz hatlarına %50 oranında hidrojen karıştırılması,

mümkün olmayacaktır. Aynı şey, hidrojen üretimi sonrasında bu üretimi nihai tüketicilere ulaştırabilecek altyapı sağlayan yeterli endüstriyel politikaların bulunmaması durumunda da geçerlidir<sup>16</sup>,

- Tutarlı veya verimsiz finansman hesaplamaları,
- Hidrojene geçişin ilk aşamalarında devlet desteği büyük önem arz etmektedir,
- Hükümetler tarafından uygulanacak karbon fiyatlandırılması hidrojenin geleceğini önemli ölçüde etkileyecektir,

## 2.8. Ulusal Hidrojen Stratejilerinin Uygulanabilirliği

Geliştirilen ulusal hidrojen strateji hedeflerinin gerçekleştirilmesinin önünde bazı engeller bulunmakta ve beklenmektedir. Aşağıda belirtilen engeller hususunda alınacak önlemler hidrojen sektörünün gelişimini etkileyecektir;

- Hükümetlerin taahhütlerine ve uzun vadeli stratejilere rağmen, düzenlemelerin uyum sağlaması yavaş olabilir<sup>6</sup>,
- Hidrojenin gelişiminin önünde mevzuatsal eksiklikler ve yüksek yatırım maliyetleri bulunmaktadır,
- Belirsiz, eksik veya verimsiz endüstriyel emisyonlar veya güvenlik düzenlemeleri;
- Hidrojen piyasalarının farklı nihai kullanım sektörlerinde (taşımacılık, ısıtma, sanayi) ölçeğinin büyütülmesini yürütmek için yeterli politikaların bulunmaması halinde

### 3. HİDROJENE GEÇİŞTE DOĞAL GAZ ALTYAPISI

Ulusal hidrojen stratejilerindeki hedeflere ulaşılmasında doğal gaz altyapılarına çok büyük roller düşmektedir. Hidrojenin taşınmasında, nihai kullanıcıya ulaştırılmasında, depolanmasında ve karbonsuzlaştırma çalışmalarında doğal gaz şebekeleri kritik rol üstlenmektedir. Özellikle elektrik şebekelerine kıyasla doğal gaz şebekesi, büyük miktardaki hidrojeni daha uzun mesafelere daha az maliyetle taşıyabilmektedir.

Fosil yakıtlar arasında en az karbon salımına sahip olan doğal gaz, kömür yerine tercih edilmesiyle düşük karbon salımına geçişe öncülük etmiştir. Bunun yanında hidrojenin gaz şebekesine karıştırılması sayesinde hidrojen ve gaz entegrasyonunun, yoğun bir karbondan arındırmaya geçişi daha da hızlandıracaktır. Aynı zamanda gaz şebekelerine hidrojen eklenmesi uygun maliyetli bir karbondan arındırma seçeneği sunmaktadır.

Gaz şebekelerinin ana rolü, nihai kullanıcıya doğal gazı etkili, güvenli, güvenilir ve tedbirli bir şekilde ulaştırılmasını sağlamaktır. Hidrojenin gaz şebekelerinde karbondan arındırma aracı olarak ana rolü, müşteriler tarafından tüketilen gazın karbon ayak izini çeşitli nihai kullanım uygulamalarında (ör. endüstriyel, konutlar, yakıt dolmuş vb.) azaltmaktır. Genel hidrojen talebi, gaz şebekesinin istenilen ölçüde karbondan arındırılmasını gerektirecektir ancak hidrojenin kendisi, doğal gaz şebekesine bir karışım halinde enjekte edilebilir ya da enjeksiyon için sentetik metan üretmek amacıyla kullanılabilir ya da doğrudan bir hidrojen şebekesine enjekte edilebilir<sup>2</sup>.

Ulusal hidrojen stratejilerine göre, ilerleyen yıllarda doğal gaz işletmecilerinin altyapılarda daha fazla yenilenebilir gaz ve düşük karbonlu hidrojen kullanarak doğal gaz kullanımını azaltması beklenmektedir. Özellikle yeşil hidrojen teknolojisinin gelişimi, gaz altyapısında daha büyük miktarlarda yenilenebilir kaynakların iletimi, dağıtımı ve depolamasını mümkün kılacaktır.

Bu gelişimin sadece yeşil hidrojen değil, CCS ile gaz reformasyonu aracılığıyla elde edilen mavi hidrojen de olması beklenmektedir. 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, iklim zararsız enerji sisteminde büyük çaplı bir depolama görevi görebilir. Öte yandan da bir karışım veya %100 hidrojen olarak enjekte edilmesiyle hidrojenin, iç enerji piyasasına sorunsuz bir şekilde entegre edilmesini sağlayabilir. Gaz altyapısı, daha kapsamlı sektörel bir entegrasyonu da geliştirebilir; ısıtma, tarım ve ulaşım sektörleri gibi<sup>2</sup>.

Hidrojenin doğal gaz sistemlerinde kullanılması için sistemde bazı revizyonların yapılması ihtiyacı oluşabilmektedir. Yüksek miktarda hidrojenin uzun mesafelere taşınması için doğal gaz iletim hatlarında teknik iyileştirmeye gidilmesi gereklidir. Gaz



depoları, gelecekte hidrojen de dahil olmak üzere yenilenebilir ve düşük karbonlu gazların depolanmasında önemli bir rol oynayabilir: tuz mağaraları, bir miktar iyileştirme ile hidrojen için uygun olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda tükenen gaz alanlarının da hidrojen depolanması için büyük potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir. Büyük ölçüde rüzgar ve güneşten kesintili enerji üretiminin hakim olduğu gelecekteki bir enerji sisteminde, yenilenebilir enerji kaynaklarının uygun maliyetli entegrasyonunu sağlamak için gaz sistemi tarafından sağlanan büyük esneklik ve depolama kapasitesi gerekli olacaktır<sup>17</sup>.

LNG terminalleri, kaynak ve rota çeşitlendirme yoluyla arz güvenliğini artırır ve küresel ve rekabetçi (fosil ve yenilenebilir) enerji kaynaklarına erişimi güvence altına alır. LNG terminalleri, yenilenebilir ve düşük karbonlu enerji için giriş kapısı olarak ülkelerdeki karbonsuzlaştırma geçişini hızlandırabilir<sup>18</sup>. Aynı zamanda hidrojenin rekabetçi ve verimli ithalatının gerçekleşmesine de katkı sağlayabilir.

Dünya çapında birçok doğal gaz şebekelerine hidrojen enjekte projesi yürütülmektedir. Başlangıçta yürütülen projeler Avrupa ile sınırlı olsa da, 2017'den beri diğer ülkeler (Avustralya, Kanada ve Amerika Birleşik Devletleri gibi) düşük karbonlu hidrojen talebini artırmak için gaz şebekelerine yönelik projeler yapmaya başladı. Yılda yaklaşık 2.900 ton hidrojeni gaz şebekesine karıştırabilen tesisler şu anda dünya çapında mevcuttur<sup>19</sup>.

Hydrogen Europe tarafından hazırlanan "İklim Zararsız Bir Ekonomiye Giden Yolda Hidrojen ve Gaz Altyapısının Rolü" raporunda hidrojen ekonomisine geçişte

gaz altyapısının rolüne ilişkin 6 ana etkene yer verilmiştir<sup>2</sup>. Bunlar;

### **1. Hidrojenin sistematik rolünü ortaya çıkarmanın anahtarı olarak gaz altyapısı:**

Elektrik şebekesine kıyasla gaz altyapısı, daha büyük hacimleri daha uzun mesafelerde daha az maliyetlerle taşıyabilmektedir.

Mevcut gaz altyapıları büyük mevsimlik depolama kapasiteleri sunabilir. Elektrikli gaza dönüştürme, fazla üretilen yenilenebilir elektrik kaynaklarının enerji sistemine tekrar entegrasyonunu sağlayabilmektedir.

### **2. Gaz altyapısının kesintisiz kullanımını sağlayan hidrojen:**

İklimे zararsız bir enerji sisteminde doğal gazın aynı şekilde kullanılmaya devam etmesi sınırlıdır. Doğal gazın, CCS ile gaz reformasyonu aracılığıyla veya yenilenebilir elektriğin elektroliz aracılığıyla hidrojene dönüştürülmesi, mevcut gaz altyapısının kapsamlı taşıma ve depolama kapasiteleri sayesinde günümüz ve geleceğin enerji yatırımcılarının önemli ölçüde maliyet tasarrufu yapmasına imkan tanımaktadır.

### **3. Sektörel Entegrasyonun Sağlanması:**

Gaz altyapısında depolanan hidrojen ısı, ulaşım, enerji ya da sanayi için talepleri karşılamak amacıyla farklı zaman dilimlerinde ve konumlarda da kullanılarak enerjide yüksek kullanım ve emilim oranını gerçekleştirir.

Power to Gas teknolojisi sektörel entegrasyonu mümkün kılar. Elektrikli

hidrojene dönüştürmenin her bir enerji sektörüne ulaşabilme ve bunları entegre edebilme imkanı, yenilenebilir enerjilerin çok daha yaygın bir şekilde kabul edilerek kullanılması fırsatını doğurmaktadır.

#### **4. Elektrik sektörü için yan hizmetler:**

Elektriği gaza dönüştürme kısıtlanmayan bir enerji esnekliği sağlamaktadır. Elektrik şebekesine yüksek değerde yan hizmetler sunmak için elektriğin gaza dönüştürülme işlemi sayesinde, enerji tuz mağarasında depolanabilir ya da gaz şebekesinde kullanılabilir.

#### **5. Yenilenebilir entegrasyon ve karbondan arındırma:**

Mevcut gaz altyapısı sayesinde sektör birlikteliği bağlamında elektriği gaza dönüştürme, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının (RES) enerji sistemine yüksek penetrasyonda entegre edilmesini ve kısıntıyı azaltarak daha uzun sürelerde RES operasyonu sağlayabilir.

Doğal gaz şebekelerinde hidrojen kullanılarak GHG emisyonlarını azaltabilir, enerjide dışa bağımsızlığı güçlendirebilir.

#### **6. Hidrojen nihai kullanım piyasalarının yükseltilmesini destekleme yolları:**

Hidrojenin enerji piyasalarındaki gelişimi ve nihai kullanıcıya ulaşımı, hidrojenin taşınması, depolanması ve üretim alanlarını kullanıma bağlayan güvenilir ve güvenli bir altyapıyla desteklenmesine bağlıdır. Mevcut ve yenilenecek gaz altyapısı, hidrojen taşımacılığının artan ihtiyacını karşılayabilecek.

### **3.1. Avrupa Birliği**

AB'nin 2050 iklim nötrlüğü hedeflerine ulaşmada gaz altyapısı ve hidrojenin kilit bir rol oynaması beklenmektedir.

Birçok Avrupa ülkesi, yayınlanmış stratejiler, politikalar veya yasal hedefler yoluyla mevcut ve gelecekteki yenilenebilir ve düşük karbonlu gazlar için planlarını belirlemiştir. AB enerji politikası, enerji çeşitliliğini, enerji güvenliğini ve yenilenebilir kaynakları teşvik ederken, Avrupa'da entegre bir enerji pazarı sağlamak için uygulanacak önlemleri detaylandırmaktadır. Bu önlemlerin önemli bir yönü karbondan arındırma ve fosil yakıtlardan düşük karbonlu gazlara geçişi içerir. Örneğin, Almanya'daki "Hidrojen ve Yakıt Hücresi Teknolojisi için Ulusal Yenilik Programı", Fransa'daki "Enerji Dönüşümü için Hidrojen Dağıtım Planı", İngiltere'deki "Gaz Yeşilleniyor" ve İsveç'teki "Hidrojen Ulaşım Altyapısı" projeleri bu çalışmalara örnektir<sup>21</sup>.

Avrupa hidrojen stratejisinde mevcut doğal gaz altyapısı ve inşa edilecek yeni altyapının üstleneceği roller şu şekilde açıklanmıştır; Hidrojene yönelik altyapı ihtiyaçları, nihayetinde hidrojen üretim modeline, talebine ve nakliye maliyetlerine bağlı olacak ve 2024'ten sonra önemli ölçüde artarak hidrojen üretiminin gelişiminin farklı aşamalarıyla bağlantılı olacak şekilde belirtilmiştir. İkinci aşamada, ek endüstriyel talebi karşılamak için yerel hidrojen ağları ortaya çıkacağı vurgulanmıştır. Artan taleple birlikte, hidrojenin üretiminin, kullanımının ve taşınmasının optimizasyonunun güvence altına alınması gerekecektir. Mevcut altyapıyı yeniden amaca uygun hale getirilmesini mümkün kılmak için, teknik

uygunluğunun değerlendirilmesi ve aynı zamanda rekabetçi karbondan arındırılmış gaz piyasaları için düzenleyici çerçevenin gözden geçirilmesi, genel bir enerji sistemi perspektifi göz önünde bulundurularak bu tür finansman ve işleme izin vermeye yönelik çalışmaların başlatılması<sup>20</sup>.

Avrupa genelinde yapılan çalışmalarda, çoğu doğal gaz şebekesinde herhangi bir değişiklik yapılmadan doğal gaza %20'ye kadar hidrojenin (hacimsel) enjekte edilebileceğini ve bu da pahalı altyapı yatırımları için acil gereksinimi azalttığını göstermektedir. Şebekede izin verilen hidrojen konsantrasyonları için eşik değer ülkelere göre değişiklik göstermektedir. Çoğu Avrupa ülkesinde, gaz şebekelerinde izin verilen hidrojen miktarına ilişkin katı ulusal düzenlemeler vardır. 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. Bu düzenlemelerin esnetilmesine yönelik birçok Ar&Ge projesi yürütülmekte ve ileriye dönük hedefler konulmuş durumdadır.

Avrupa'da doğal gaz sistemlerinde hidrojen kullanımına yönelik hedefler;

- 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 H<sub>2</sub> nin doğal gaz şebekesine enjekte edilmesi
- 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
- Hidrojenin, Avrupa'da doğal gazın %50'lik payını alması beklenmektedir

Avrupa'daki STK'lar ve özel sektör kuruluşları da yenilenebilir ve düşük karbonlu gazların kullanımına yönelik öneri ve çalışmalarda bulunmaktadır.

Avrupa'nın önde gelen on doğal gaz taşıma ve iki yenilenebilir gaz derneğinden oluşan "Gas For Climate" konsorsiyumu tarafından yayınlanan "Gaz Dekarbonizasyon Yolları 2020–2050" raporunda Avrupa'da yenilenebilir ve düşük karbonlu gazların kullanımına yönelik şu önerilerde bulunulmuştur<sup>22</sup>:

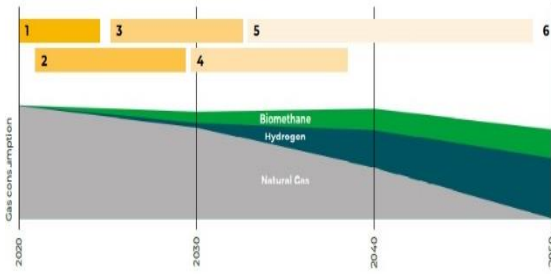
- Entegre bir enerji sisteminde gaz altyapısını geleceğe hazır hale getirmek için mevzuat çalışmalarının yapılması.
- Biyometan ve hidrojen üretimini teşvik edici yasalar oluşturarak 2030 yılına kadar şebekelerde

%10'u yenilenebilir kaynaklardan elde edilen gazların kullanılması.

- Sınır ötesi hidrojen ve biyometan ticaretinin teşvik edilmesi. Hidrojen taşınması dahil yeşil ve mavi hidrojen için piyasa kurallarının netleştirilmesi.
- Hedeflenen ve zamana bağlı Fark Sözleşmeleri ile birlikte AB Emisyon Ticaret Sistemini güçlendirerek ve genişleterek hidrojen ve biyometan talebini teşvik edilmesi.

2050'ye kadar net sıfır emisyonlu enerji sistemine doğru Hızlandırılmış Dekarbonizasyon Yolu adlı planda 2050'ye kadar hidrojen ve biyometan kullanımına yönelik 6 adım öngörülmüştür.

### Resim 3. 2050 Dekarbonizasyon Yolu



Kaynak: Gas For Climate

#### 1. Geçiş için hazırlanma (2020-2030);

- Net sıfır emisyonla geçişte yenilenebilir ve düşük karbonlu gazları yenilenebilir elektrik yanında önemli bir rol oynaması için stratejik, teknik ve politika planlamasının yapılması,
- Mevcut boru hatlarının hidrojene dönüştürülmesi için uzun vadeli altyapı stratejilerinin oluşturulması,
- Dönüşüm aşaması için mevzuat düzenlemelerinin yapılması,

#### 2. Yeni bağlantılar (2020-2030);

- Gaz şebekesine yakın biyometan tesislerinde ölçek büyütülmesi,
- İlk hidrojen projelerine başlanması,
- Yenilenebilir ve düşük karbonlu gazların alımını sağlamak için tüm sektörlerde enerji verimliliği iyileştirmeleri,

#### 3. Tedariğin canlandırılması (2020-2040);

- CCUS ile entegre edilen hidrojen projelerine başlanması
- Bölgesel hidrojen altyapılarının geliştirilmesi,
- Biyometan arzının sürekli artması

#### 4. Artan talep (2030-2040);

- Hidrojen kullanımının ticari ve konut tüketicilerine ulaşması,
- Karışım gazı (%20'ye kadar hidrojen) ilk talebi hızlı bir şekilde artırarak hidrojen kümelenmelerinin yolunu açması (%100 hidrojen),
- Doğal gaz hatlarında biyometan oranlarının artırılması,

#### 5. Özel metan ve hidrojen ağları oluşturmak (2030-2050);

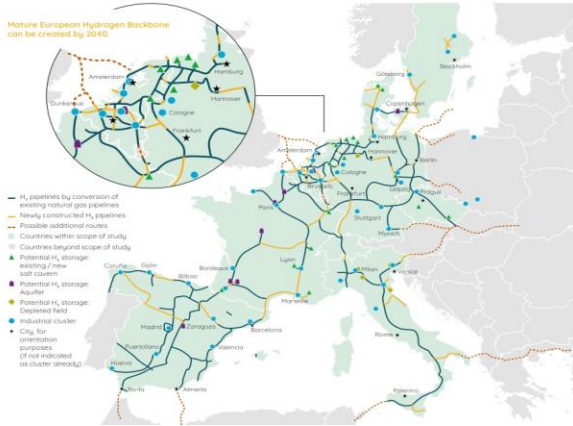
- Daha fazla üretim yöntemi teknik ve ekonomik olarak olgunlaştıkça yenilenebilir ve düşük karbonlu gaz arzının daha artırılması ve çeşitlendirilmesi,
- Hidrojen altyapısı AB genelinde gelişmesi,

6. % 100 yenilenebilir ve düşük karbonlu gazlar (2050 - ....);

- Yenilenebilir ve düşük karbonlu gazlar AB enerji sistemine tamamen entegre edilmesi,
- Tüm gaz nihai kullanıcıları, bölgeye göre hidrojen ve/veya biyometan kullanması
- Doğal gaz kullanımının daha çok CCUS ile mavi hidrojen üretimi için kullanılması
- 2050'de net sıfır enerji sistemine ulaşmak,

11 Avrupa gaz altyapısı şirketi tarafından, on Avrupa ülkesi (Almanya, Fransa, İtalya, İspanya, Hollanda, Belçika, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, İsveç ve İsviçre) için hidrojen taşıma altyapısı planı sunuldu<sup>23</sup>:

**Resim 4. 2040 Avrupa Hidrojen Omurgası**



*Kaynak: Guidehouse*

- 2030'a kadar 6.800 km'lik yeni boru hattı inşa edilmesi,
- 2040'a kadar 23.000 km'lik (%75'i mevcut doğal gaz hattı, %25'ise yeni boru hatları) boru hattı ile hidrojen vadilerinin entegrasyonunun sağlanması,

- 2040 yılına kadar tahmini altyapı maliyet 27-64 milyar € arasında olması beklenmektedir,
- İşletme maliyetide beklenenden daha düşüktür; 1.000 km'lik bir taşıma mesafesi boyunca gereken elektrik miktarı, taşınan hidrojenin enerji içeriğinin yaklaşık% 2'si,
- 1.000 km' lik bir mesafede hidrojenin taşıma maliyeti kg başına 0,09-0,17 € arasında olması beklenmekte,

### 3.2. Birleşik Krallık

Birleşik Krallık'taki evlerin ve ticari binaların %80'inden fazlasını da ısıtma amaçlı doğal gaz kullanılmaktadır ve aynı zamanda Birleşik Krallık geniş bir gaz ağına sahiptir. Bu geniş doğal gaz şebekesinin karbondan arındırılması, net sıfır emisyon hedeflerinin anahtarı olarak görülmektedir. Bu amaçla doğal gaz sistemlerinde hidrojen kullanımına yönelik birçok pilot proje yürütülmektedir. Bu projelerden öne çıkanlar;

- HyDeploy Projesi: 100 evi ve 30 fakülte binasını besleyen doğal gaz şebekesine %20'ye kadar hidrojen enjeksiyonunu test ediliyor<sup>24</sup>.
- H21 Projesi: Birleşik Krallık gaz ağlarının %100 hidrojen taşıyacak şekilde dönüştürülmesini desteklemek için tasarlanmış bir gaz endüstrisi projeleri paketidir<sup>25</sup>.
- H100 Fife Projesi: Dünyanın ilk %100 yeşil hidrojen ağı projesi. 300 konuta bağlanacak, konut sakinleri yeşil hidrojeni ısıtma ve pişirmede kullanacak<sup>26</sup>.

- HyNTS Future Grid Projesi: Çelik hatlarda %100 hidrojen testlerinin yapılması<sup>27</sup>.

Bu çalışmaların sonuçları, mevcut doğal gaz hatlarının hidrojen ile harmanlanmasının uygulanabilirliğini gösterecektir. Birleşik Krallık'ta gaz şebekesine enjekte edilebilen yasal hidrojen konsantrasyonu %0,1'dir. Hidrojen karışımını %20'ye kadar artırmak için test edilmektedir. Proje sonuçları neticesinde daha yüksek karışıma izin verilmesi için mevzuatın değiştirilmesi beklenmektedir

Birleşik Krallık'ta şu an mevcut bir hidrojen strateji bulunmamaktadır. 2050 net sıfır emisyon hedefi için 2020 yılı Kasım ayında Birleşik Krallık Başbakanı 10 maddelik "Yeşil Endüstriyel Devrim" planını açıkladı<sup>28</sup>. Plana göre toplam 12 milyar sterlin yatırım yapılması, 250.000 yeni istihdam oluşturulması, CSS ve yeşil hidrojen teknolojilerine öncelik verilerek yenilenebilir ve düşük karbonlu gazların kullanımını teşvik edilecek.

2020 yılında Birleşik Krallık'taki 5 doğal gaz dağıtım şirketi tarafından da, mevcut doğal gaz şebekelerini hidrojene ve biyometana uygun hale dönüştürmek için 900 milyon £ üzeri yatırım planı önerildi, bu planın hükümet ve enerji düzenleyicisi Ofgem'den onaylanması talep edildi<sup>29</sup>. Bu plana göre;

- Şebeke altyapısına 446 milyon £
- Eysel cihazlar için 150 milyon £
- Gaz harmanlama çalışmalarına 44 milyon £
- Mevcut şebekenin daha fazla hidrojen ve biyometan üretim

projelerine entegrasyonu için 264 milyon £ yatırım yapılması önerildi

Birleşik Krallık gaz-elektrik iletim ve dağıtım lisansı sahipleri tarafından finanse edilen endüstri kuruluşu ENA (Energy Network Association) tarafından doğal gaz şebekesini en uygun maliyetli ve en az değişimli olacak şekilde net sıfır emisyon hedefine ulaştırmak için "Gas Goes Green" planı sunulmuştur. Bu plan ile 2050 yılında gaz şebekelerinde sıfır karbon emisyonu için doğal gaz yerine kademeli olarak hidrojen ve biyometan kullanımı yol haritası önerilmiştir<sup>30</sup>;

- 2020 - 2024: Ar-Ge çalışmaları
- 2021 - 2026: Mevcut sisteme yeni bağlantılar sağlanması hidrojen ve biyometan
- 2026 - 2032: Yeni yeşil gaz tesisleri
- 2030 - ..... : Yeşil gaz kullanımı ve yaygınlaştırma
- 2030 - 2040: Yeni hidrojen kümelenmeleri ve entegrasyonları
- 2050: Sıfır karbonlu gaz şebekesi

2050'ye kadar sıfır karbonlu gaz şebekesi planı, %100 elektrifikasyon alternatifine kıyasla yılda 13 milyar £ tasarruf sağlaması beklenmektedir.

Energy Networks Association'ın Gas Goes Green programının bir parçası olarak yayınlanan "Britanya Hidrojen Ağı Planı" Britanya'nın beş gaz şebekesi şirketinin gerçekleştireceği faaliyetin detaylarını ortaya koymaktadır<sup>31</sup>. Öne çıkan detaylar;

- 2023 yılına kadar %20'ye kadar hidrojeni gaz şebekelerine karıştırmaya hazır olmak,

- 2030'a kadar hidrojen kasabasının oluşturulması,
- Birleşik Krallık'ın 2025'e kadar 1 GW, 2030'a kadar 5 GW hidrojen üretim hedefine destek olmak,

### 3.3. Almanya

Almanya, Avrupa'da 29 MW'lık kurulu güç ile en fazla Power to Gas tesisine sahip ülkedir. 2025 yılına kadar 5GW, 2050'ye kadar 40 GW kurulu güce çıkarma hedefi bulunmaktadır<sup>32</sup>.

Hidrojenin doğal gaz sektöründe kullanımına yönelik birçok Ar&Ge projesi yürütülmektedir. Almanya'da şu anda gaz şebekesine %10'a kadar hidrojenin eklenmesine izin verilmektedir. Bu oranın yapılan çalışmalar neticesinde kısa vade de hacimce %20 ve uzun vadede %100 hidrojene yükseltilmesi beklenmektedir.

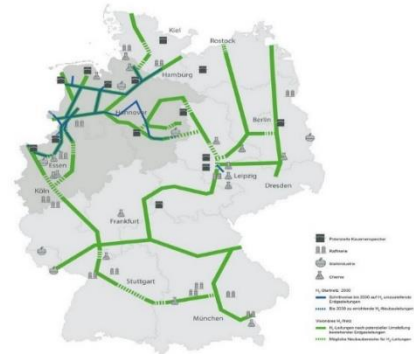
Almanya'da yürütülen doğal gaz sistemlerine hidrojen harmanlanması projelerinden bazıları;

- H2HoWi Projesi: Doğal gaz boru hatlarının saf hidrojen taşımacılığına uygunluğu teknik olarak araştırılıp test ediliyor<sup>33</sup>,
- Westküste 100 Projesi: Açık deniz rüzgârından yeşil hidrojen üretecek. Üretilen yeşil hidrojen, uçak yakıtları üretmek için ve yeni bir doğal gaz şebekesine beslemek için kullanılacak<sup>34</sup>,
- H2-Messrichtigkeit Projesi: H<sub>2</sub> basınçlı gazlar kullanıldığında ev tipi basınç regülatörleri ile bağlantılı olarak ev tipi sayaçların davranışının araştırılması projesi<sup>35</sup>

- HIGGS Projesi: Yüksek basınçlı gaz iletim şebekesinin hidrojen uyumluluğunun belirlenmesi ve yüzde 100'e varan hacimlerde doğal gazla hidrojen karışımları için Avrupa kuralları, standartları ve sertifikaları ile ilgili verilerin derlenmesi,
- H2-20 Projesi: Dağıtım şebekesine %20 hacimsel hidrojen eklenmesi ve testleri<sup>36</sup>,

Almanya'nın doğal gaz boru hattı operatörleri (FNB) 2030 yılına kadar doğal gaz şebekesine 1746 kilometrelik yeni hidrojen hattının eklenmesi ve 405 megawatt kapasiteli ilave kompresör istasyonlarının yapılmasını önerdi. Bu ilaveler için 8,5 milyar avroluk yatırım öngörülüyor<sup>37</sup>. Sunulan bu plan, Almanya'da yeşil hidrojeni taşımak için bir başlangıç şebekesi olarak görülebilir, ayrıca oluşturulan bu şebeke çelik veya kimyasallar gibi endüstrilere iklime nötr olma fırsatı sunabilir. Önerilen yeşil gaz şebekesi, ülkenin kuzeyindeki rüzgar türbinlerini kullanarak elde edilen yeşil hidrojenin, Kuzey Ren-Vestfalya ve Aşağı Saksonya'daki Alman eyaletlerine taşınmasını sağlayacaktır<sup>38</sup>.

**Resim 5. Almanya Ulusal Hidrojen Altyapısı**



*Kaynak: OGE*

2020 Temmuz ayında BDEW endüstri grubu (Alman Enerji ve Su Endüstrileri Birliği) tarafından hidrojenin daha büyük ölçekte kullanılması da dahil olmak üzere, Almanya'daki gaz arzının yeniden yapılandırılması için bir plan yayınladı<sup>39</sup>. Bu plan üç ana aşamadan oluşmaktadır;

- 2030 yılına kadar daha büyük ölçekte yenilenebilir ve karbondan arındırılmış hidrojenin pazar artışının sağlanması,
- 2040 yılına kadar yenilenebilir ve düşük karbonlu gazların optimum kullanımı ve hidrojen ithalatında artış,
- 2050'ye kadar doğal gazın yerini yenilenebilir ve düşük karbonlu gazların alması,

### 3.4. Fransa

Fransa'da doğal gaz şebekesine hidrojen enjeksiyonu hala araştırma ve geliştirme aşamasındadır. Hidrojenin taşınması ve şebekelere eklenmesi hususunda kapsamlı bir düzenleme bulunmamaktadır. Doğal gaz şebekesine %2'lik hidrojen eklenmesine yasal izin bulunmaktadır.

Fransa'nın en büyük gaz dağıtım şirketi olan GRTgaz tarafından birçok pilot proje yürütülmektedir. Bu projelerden bazıları;

- GRHYD Projesi: Doğal gaz dağıtım ağına hidrojen enjekte etme projesidir. 100 konut için doğal gaz şebekesine hacimce %20 oranında hidrojen eklenerek evsel cihazlar ve boru hatları için testler yapılmaktadır<sup>40</sup>,
- MosaHYc Projesi: Almanya ve Fransa arasındaki mevcut iki boru hattının 70 km'lik saf hidrojen

altyapısına dönüştürülmesine odaklanılacaktır<sup>41</sup>,

- Jupiter 1000 Projesi: 1 MW hidrojen üretim tesisi kurularak, üretilen hidrojeni sentetik gaza dönüştürmek için bir metanasyon ünitesi ve metanasyon için endüstriyel bir CO<sup>2</sup> yakalama ünitesi aracılığıyla iletim ağına hidrojen ve sentetik metan enjeksiyonun testleri yapılmaktadır<sup>42</sup>,

“Avrupa'nın Hidrojen Omurgası” raporuna göre 2030 yılına kadar Dunkerque, le Havre, Paris, Lyon ve Marsilya'daki endüstriyel kümelerin etrafında 700 km'lik bölgesel özel hidrojen ağlarının oluşturulması, 2040 yılına kadar 3,300 km'lik hidrojen ağı oluşturulması beklenmektedir<sup>23</sup>.

GRTgaz, 2050 yılına kadar Power to Gas teknoloji ile yılda 15 ila 20 TWh arasında yenilenebilir gaz üretilebileceği ve bu gazların önemli derecede fazla üretim seviyelerinin olduğu dönemlerde doğal gaz şebekelerine enjekte edileceğini veya depolanacağını tahmin ediyor<sup>43</sup>.

### 3.5. Hollanda

Hollanda'nın enerji karışımında doğal gazın payı %41'dir. Hollanda hükümeti 2030 yılına kadar Avrupa'nın en büyük, dünyanın onuncu en büyük doğal gaz üretim alanı olan Groningen doğal gaz sahasını kademeli olarak üretimi azaltarak, kapatmayı planlamakta ve 2050 yılına kadar doğal gaz kullanımının tamamen sona erdirilerek yenilenebilir gaz kullanımına geçmeyi hedeflemektedir<sup>44</sup>. Özellikle net sıfır emisyon hedefini



ulaşmak için Hollanda yüksek doğal gaz tüketimini azaltması gerekmektedir.

Hollanda'da, bölgesel doğal gaz şebekesine %0,5 ve ulusal doğal gaz şebekesine %0,2 seviyesinde hidrojen enjekte edilmesine izin verilmektedir. Küçük değişiklikler ile mevcut şebekeye %2'ye kadar fiziksel harmanlama yapılabileceği mevcut çalışmalar ile ortaya çıkmıştır. Kısa vadede doğal gaz şebekesine hidrojen enjekte oranı yaklaşık %10-20'ye çıkarılması, uzun vadede ise %100 hidrojene geçilmesi planlanmaktadır. Hollanda hükümeti tarafından da daha detaylı Ar&Ge çalışmalarının yapılması ve mali destek fonlarının ayrılacağı duyuruldu<sup>45</sup>.

2030'a kadar, Hollanda'da yeni 1.100 km'lik hidrojen şebekesi oluşturulacaktır. Groningen sahasındaki üretimin azalması nedeniyle kullanılabilir hale gelen doğal gaz boru hatları da kullanılarak, Hollanda'da hidrojen şebekesinin %70-90 oranında yenilenmiş altyapı olması beklenmektedir<sup>45</sup>.

2018 yılında Kiwa tarafından yapılan bir araştırmaya göre, Hollanda için kısa vadede doğal gaz şebekesine (2025-2030) hidrojen harmanlanması, orta vadede (2030-2040) ağın bir kısmının ve uzun vadede (> 2040) tamamının hidrojene dönüştürülmesi mümkün olabileceği belirtilmiştir<sup>46</sup>.

Hollanda'da yürütülen bazı doğal gaz sistemlerinde hidrojen deneme projeleri<sup>44</sup>;

- Hydrogen Neighbourhood Hoogeveen Projesi: Test bölgesine inşa edilecek yeni 100 ev ve mevcut 430 ev hatlarında hidrojen enjeksiyon testleri yapılacak,

- Hydrogen City Projesi: Bir köyde bulunan 600 evin ısıtılmasında hidrojen kullanılacak,
- H2 Ready Central Heating Burner Projesi: Mevcut doğal gaz brülörünün yerine hidrojen ile çalışabilen bir brülör sistemi geliştirilmesi,

### 3.6. Portekiz

Portekiz hükümeti 2030 yılına kadar hidrojen teknolojilerine 7 milyar euroluk yatırım yapılmasını onayladı. Bu yatırım ile 600 milyon euroluk doğal gaz ithalatının azalması ve mevcut doğal gaz boru hatlarının %70'inin hidrojen taşımacılığı için kullanıma uygun olduğu öngörülmekte<sup>48</sup>,

Portekiz'in Lizbon şehrindeki 2022'ye kadar tamamen polietilen ile değiştirilecek olan birkaç km'lik demir ve çelik boru haricinde tüm gaz dağıtım ağları polietilenden oluşmaktadır. Bu durum hidrojen taşımacılığı için büyük fırsat sunmaktadır. Özellikle ağ operatörlerinin yatırım planlamalarındaki önceliklerin son kullanıcıların cihazlarının aşamalı olarak dönüştürülmesi, arzın sürekliliğini sağlamak ve şebekeye hidrojen tedarik kapasitesinin dönüştürülmüş şebekeleri beslemek için yeterli olmasını sağlamak olmalıdır<sup>47</sup>.

Portekiz hidrojen stratejisinde doğal gaz şebekelerine %10 veya %15 oranında hidrojen enjeksiyon hedefi bulunmaktadır. Bu hedef doğrultusunda birçok hidrojen enjeksiyon projesi yürütülmektedir. Bu projelerden bazıları;

- Yeşil Gaz Projesi: Küçük bir dağıtım ağına yeşil hidrojen enjeksiyonunu ve 100'e yakın konutta test edilmesi<sup>49</sup>,
- H2Sines Projesi: Yeşil hidrojen üretimi ile, hidrojenin dağıtımını, nakliyesini, depolanmasını, pazarlanması ve ihracatı dahil tüm değer zincirinin değerlendirileceği geniş kapsamlı bir proje<sup>50</sup>,
- FLEXnCONFU Projesi: Kombine çevrim enerji santrallerinde doğal gazın kullanım oranını azaltmak ve doğal gaz boru hatlarında hidrojen enjeksiyon testleri yapılması hedeflenmektedir<sup>51</sup>,

### 3.7. Avustralya

Avustralya büyük bir doğal gaz altyapısına sahiptir. Mevcut evlerin yaklaşık %70'inden fazlası doğal gaz kullanmaktadır. Avustralya sıfır emisyon hedeflerine ulaşması için gaz altyapısında bir dönüşüme ihtiyaç vardır. Bu sebepten Avusturya Boru Hatları ve Gaz Birliği ve Avustralya Enerji Ağları Birliği tarafından hazırlanmış olan "2050 Gaz Vizyonu" raporunda hidrojen ve biyogaz kullanımı ile bu dönüşümün sağlanabileceği belirtilmiş ve 2050 yılı sıfır emisyonu hedefi için üç aşamalı plan sunulmuştur<sup>57</sup>;

- 2020 - 2025: Biyogaz-hidrojen yeniliğinin ve pilot projelerin başlangıcı
- 2025 - 2040: Gaz ağlarında biyogaz ve hidrojenin harmanlanması yoluyla CO2 azaltımı
- 2040 - 2050: Tüm ağların CO2 içermeyen biyogaza ve hidrojene potansiyel dönüşümü

Avustralya'da şu anda mevcut doğal gaz hatlarına hidrojen enjeksiyonuna izin verilmemektedir ama doğal gaz dağıtım ağlarına hidrojen enjeksiyonu denenen birçok pilot proje bulunmaktadır. Bu projeler ekonomik olmak için değil, hidrojen üretimi ve enjeksiyonunun daha iyi anlaşılmasını sağlamak için tasarlandı. Bazı enjeksiyon projeleri<sup>55</sup>;

- Hydrogen Park SA Projesi: Hidrojen üretimi için 1.25 MW'lık elektrolizör kullanılarak, üretilen hidrojen mevcut Tonsley gaz şebekesine hacimce %5'e kadar enjekte edilerek hatlarda testler yapılmaktadır,
- Western Sydney Green Gas Trial Projesi: Hidrojen üretimi için PEM elektrolizörü kullanılması ve mevcut Sydney İkincil Şebekesine hacimce %2'ye kadar hidrojen enjekte edilerek hatlarda testler yapılması,
- Temiz Enerji İnovasyon Merkezi Projesi: Yenilenebilir hidrojenin üretimini, depolanmasını ve doğal gazla harmanla testleri yapılmaktadır,
- Hidrojen Test Tesisi Projesi: %100 hidrojen uygulaması için mevcut Avustralya ağ bileşenlerinin, inşaat ve bakım uygulamalarının test edilmesi, elektrik şebekesinin gaz şebekesine bağlanmasını desteklemek için hidrojeni daha geniş bir enerji depolama kaynağı olarak test edilmesi ve cihaz testleri yapılmaktadır<sup>56</sup>,
- Avustralya Hidrojen Merkezi Projesi: Seçilen bölgesel kasabalardaki mevcut doğal gaz ağına %10 hidrojen

konsantrasyonunun eklenmesinin mümkün olup olmadığının teknik, ekonomik ve düzenleyici açısından araştırılması<sup>54</sup>,

Plastik boru hattı malzemeleri kullanan modern Avustralya dağıtım ağları, hidrojen ile uyumludur ve bu ağlarda %30'a varan enjeksiyon hacimleriyle ilişkili bilinen hiçbir komplikasyon yoktur. Mevcut ev aletlerinin çoğu, %13 seviyelerinde hidrojen ile sınırlı koşullar altında çalışacak şekilde test edilmiştir<sup>57</sup>.

### 3.8. Kanada

Kanada hükümeti, Paris Anlaşması kapsamında belirlenen taahhütleri yerine getirmek için emisyon azaltma hedefleri belirlemiştir. Bu amaçla da 2020 Aralık ayında hidrojen stratejisini de açıklamıştır. Strateji kapsamında Kanadalıların enerji ihtiyacının %35'ini karşılayan doğal gaz yakıtının yerine ilerleyen yıllarda yenilenebilir ve düşük karbonlu hidrojen kullanımı önerilmiştir.

Hidrojen stratejisi kapsamında bir Stratejik Yönlendirme Komitesi ve doğal gaz hizmetlerinin de içinde olduğu sektör çalışma gruplarının oluşturulması tavsiye ediliyor ve hidrojenin doğal gaz hatlarına enjeksiyonu için de 2050'ye kadar üç aşamalı plan sunulmuştur<sup>15</sup>;

- 2020 - 2025: Hidrojen enjeksiyon testlerinin yapılması ve pilot projeler geliştirilmesi,
- 2025 - 2030: Mevcut şebekelere hidrojen enjeksiyonunun gerçekleştirilmesi ve doğal gaz abonelerine sunulması,

- 2030 - 2050: Hidrojen hatlarının oluşturulması, mevcut doğal gaz hatlarına %50 oranında hidrojen karıştırılması,

### 3.9. ABD

ABD'nin mevcut bir hidrojen stratejisi bulunmamaktadır. Eyalet bazında hidrojen politikaları ve yol haritaları mevcuttur. ABD'nin Kaliforniya eyaletinin oluşturduğu eyalet hidrojen stratejisi bulunmaktadır. Kaliforniya eyaletinde bir çok hidrojen çalışması yürütülmektedir. Kaliforniya'nın büyük kamu hizmeti şirketlerinden biri olan Southern California Gas tarafından doğal gaz şebekesine hidrojen enjeksiyon testleri yapılmakta ve doğal gaz abonelerine yenilenebilir gazları sunmak için planlamalar yapılmaktadır. 2022 yılının sonuna kadar doğal gaz şebekesine %5, 2030 yılına kadar ise %20 oranında yenilenebilir gaz enjekte edilmesi hedefi bulunmaktadır.

Amerika'da gaz sistemlerine hidrojen enjekte çalışmalarını yürüten bir diğer önemli kurum ise Gaz Teknoloji Enstitü (GTI)'dür. GTI, hidrojen üretim, depolama, teslimat ve kullanım dahil üzere tüm değer zincirinin tamamında Ar-Ge faaliyetlerinin yürütüldüğü test ve laboratuvarları bulunmaktadır.

GTI özellikle, binalardaki geleneksel ve gelişmiş gazla çalışan ekipmanlarda kullanılmak üzere hidrojeni doğal gazla karıştırmanın sonuçlarını, doğal gaz hatlarında hidrojen karışımını ve küçük ekipmanlarda çok çeşitli yanma sistemi tasarımları ve performansları, emisyonlarını ve güvenliğini

değerlendirme çalışmaları üzerinde yoğunlaşmaktadır.

ABD’ de yürütülen doğal gaz sistemlerine hidrojen harmanlanması projelerinden bazıları;

- P2G Projesi: ABD’deki ilk Power to Gas projesidir. SoCalGas tarafından yürütülen projede doğal gaz hatlarına %20 oranına kadar hidrojen enjeksiyon testleri yapılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır<sup>53</sup>,
- HyBlend Projesi: Doğal gaz boru hatlarında hidrojeni karıştırmanın önündeki teknik engelleri ele almak, boru hatlarının hidrojen uyumluluğunu test etmek<sup>52</sup>,

#### 4. TÜRKİYE DOĞAL GAZ SEKTÖRÜNDE HİDROJEN ÇALIŞMALARI

Türkiye 156 bin km'lik doğal gaz dağıtım şebeke uzunluğu ile Avrupa'nın en büyük 6. doğal gaz şebekesine sahiptir. 81 ilin tamamı ve 589 yerleşim yerinde doğal gaz kullanılmaktadır. Mevcut doğal gaz şebekesi ile Türkiye nüfusunun %82'ninin üzerindeki insan doğal gaz hizmetinden yararlanabilir. 2021 yılı itibari ile 68 milyon insan için hazır hale getirilen doğal gaz şebekesinden faydalanan nüfus 55 milyondur. 13 milyon kişi ise yatırım tamamlandığı halde henüz doğal gaz kullanmamaktadır.

Türkiye'nin son 10 yıllık doğal gaz tüketimi ortalama 46 milyar m<sup>3</sup>'tür. Türkiye, tüm fosil yakıtlar arasında en düşük sera gazı emisyonuna sahip doğal gazı yaygın kullanarak şehirlerdeki hava kirliliğini sınırlamada önemli bir avantaj sağlamış oldu. Doğal gaz tüketimi ile İstanbul, Ankara ve İzmir'de hane başı ortalama 1,8 ton karbon salımı tasarrufu sağlanmaktadır.

Yenilenebilir ve düşük karbonlu gaz teknolojilerinin doğal gaz ile entegrasyonu, şehirlerde sera gazı emisyonlarının yoğunluğunu azaltma ve hava kalitesini artırmak için yeni fırsatlar sunmaktadır. Türkiye genç, modern ve geniş dağıtım şebekesi sayesinde, yenilenebilir ve düşük karbonlu gaz teknolojilerine entegrasyonu çoğu ülkeye göre daha hızlı ve sorunsuz olabilir. Sıfır emisyon hedeflerine ulaşmak adına birçok ülkede politik tartışma, proje ve uygulama aşamasında olan doğal gaz şebekelerine hidrojen enjeksiyon çalışmaları

Türkiye'de de son yıllarda ilgiyle takip edilmekte ve çalışılmaktadır.

Ocak 2020 tarihinde T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nda düzenlenen "Enerjide Arama Buluşmaları: Hidrojen" konulu çalıştayda T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Sn. Fatih Dönmez'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, Akso Doğal Gaz ve Enerji Doğal Gaz proje ortaklığı ile Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Ar-Ge Komisyonunca onaylanan Yenilenebilir Gaz Üretimi projesinin, Ar-Ge ve bütçe faaliyetlerinin Gazbir-Gazmer tarafından yürütülmesi için yetkilendirme gerçekleştirilmiştir. Gazbir-Gazmer yürütücülüğünde Konya şehrinde Türkiye'nin ilk Power to Gas projesi 2020 yılının başında başlamıştır ve çalışmalarına devam etmektedir.

Bu proje ile Türkiye'de ilk defa doğal gaz ile hidrojenin karıştırılarak evsel cihazların beslenmesi hayata geçirilmiştir. Proje ile çevreye etkileri azaltılmış ve karbonsuzlaştırma çabalarına katkı sağlayacak bir çözüm geliştirilmesi hedeflenmektedir. Güneş panelleri, rüzgâr türbini ve yakıt hücresi ile ihtiyacının %100'ünü yenilenebilir enerjiden sağlayan bir laboratuvar kurularak, hem akademik alanda hem de endüstriyel alanda yol gösterici çalışmalar ortaya konulmaya başlanmıştır. Projede temiz ve yenilenebilir

enerji kaynakları ile hidrojen üretilmesi, üretilen hidrojenin doğal gaz hattına enjeksiyonu, proje ekibince geliştirilmiş gaz karışımı ve kontrol sistemleri kullanılarak, hidrojen ve doğal gaz karışımının yakma sistemlerinde test edilmesi, verim, çevresel etkiler ve ekonomik açıdan değerlendirmeler yapılması amaçlanmaktadır.

Gazbir-Gazmer Temiz Enerji Merkezinde test amaçlı sırasıyla oransal olarak ortalama % 5-10-15-20'ye kadar hidrojen ile %95-90-85-80'e kadar doğal gaz karıştırıldı ve elde edilen karışım, test amaçlı yakıldı ve başarılı sonuçlar alındı.

Gazbir-Gazmer, 2021 Şubat ayında Temiz Enerji Merkezinde hidrojen %20 oranında doğal gaza karışımı ve evsel cihazlarda testlerin başlandığı, ilk sonuçların başarılı olduğu ve asıl sonuçların uzun soluklu testler sonucunda ortaya çıkacağını açıkladı.

Türkiye'de yürütülen doğal gaz sistemlerine hidrojen enjekte projesinin ilk sonuçlarına göre, şu anki doğal gaz iç tesisatlarında ve tüketici cihazlarında önemli bir değişikliğe gerek kalmaksızın hidrojenin, dağıtım ağlarında doğal gazla birlikte en fazla %20 oranında (hacim olarak enerji içeriği bakımından %6 oranına eşdeğer) karıştırılabileceği düşünülmektedir.

#### 4.1. Neden Yol Haritası?

Son yıllarda küresel gaz sektörü doğal gaza yönelik düşük karbon teknolojileri geliştirme, yenilenebilir gaz kaynaklarını mevcut altyapıya entegre etme ve metan emisyonlarını sınırlama yoluyla kentsel hava kirliliğini azaltmada bir araç olarak

gazın çevresel sürdürülebilirliğini teşvik edilmesini savunuyor.

Doğal gazın sera gazı emisyonlarının yoğunluğunu azaltma ve hava kalitesini arttırmadaki rolü devlet politikalarında giderek daha fazla yer bularak gaz piyasasının gelişimini artırmaktadır. Fakat metan emisyonları konusu, gazın sürdürülebilirlik iddiaları noktasında oldukça ciddi bir zorluk oluşturma potansiyeli taşımaktadır. Doğal gazın kısa vadede sera gazı emisyonlarını azaltmada rolü açıktır ancak uzun vadede doğal gazın daha sürdürülebilir kullanılması için yenilenebilir gaz, düşük karbonlu hidrojen ve CCUS dahil olmak üzere gaza yönelik yeni, düşük karbonlu teknolojilerin benimsenmesi gerekecektir<sup>59</sup>. Bu teknolojilerin tüketicilere güvenli ve ekonomik bir şekilde sunulması için yol haritası oluşturulması önemlidir.

Özellikle Paris İklim Anlaşması sonrasında ortaya konulan 2050 iklim hedefleri ışığında, doğal gazın aşamalı olarak yenilenebilir ve karbondan arındırılmış gazlarla değiştirilmesi planlanmaktadır. Bu uzun vadeli hedefe ulaşmak için, sektörel bazlı kapsamlı yol haritalarının oluşturulması gereklidir.

Türkiye'nin doğal gaz hatlarında kademeli olarak hidrojene yönelmesi karbonsuzlaşmaya geçişteki ara sürecin önemli bir parçasıdır. Örneğin, Hidrojen Teknolojileri Derneği tarafından yayınlanan Türkiye için Hidrojen Teknolojileri Yol Haritası raporunda doğal gaz sistemlerine hacimsel %20 hidrojen enjeksiyonu ile 2030 yılına kadar CO<sub>2</sub> emisyonlarının %18,5, NO<sub>x</sub> emisyonlarının %17,5 ve SO<sub>2</sub>

emisyollarının %16,6 oranında azalması öngörülmektedir<sup>59</sup>.

Türkiye için oluşturulacak yol haritasında gaz şebekelerindeki hidrojen geçişinin kademeli olması lazımdır. Bunun nedeni, mevcut gaz altyapısının yenilenebilir ve karbondan arındırılmış gazların kullanımı için kullanılabilmesi ve dönüştürülebilmesidir. Ayrıca ilerleyen yıllarda hidrojen üretim maliyetlerinde sağlanacak düşüşler ile de, diğer sektörlere yenilenebilir ve karbondan arındırılmış gazların girmesinin önü de açılmış olacaktır. Bu senaryonun öncelikle konutlarda uygulanması teknik olarak sanayi sektörüne göre daha mümkün ve kolaydır.

Türkiye doğal gaz sektöründe arz güvenliği ve enerji verimliliğini sağlayarak dışa bağımlılığı azaltacak ve karbon emisyonlarını düşürecek olan süreci başlatmak için Türkiye'nin ulusal enerji ve iklim hedefleri ile uyumlu yenilenebilir gaz ve düşük karbonlu gaz teknolojilerine geçiş stratejisinin oluşturulması gereklidir. Bu ihtiyacı doğuran ana nedenler;

- Daha düşük sera gazı emisyonu
- Daha çevreci
- Daha az fosil yakıt bağımlılığı
- Yenilenebilir enerjiyi depolamak ve aktarım aracı olarak kullanmak
- Doğal gaz sistemlerinde dışa bağımlılığı azaltan temiz enerji kaynaklarını kullanmak

## 4.2. Doğal Gaz Sistemlerinde Hidrojene Geçiş Stratejisi Önerisi

Entegre bir enerji sisteminde doğal gaz altyapısını geleceğe hazır hale getirmek Türkiye ekonomisinin sürdürülebilir ve uygun maliyetli karbonsuzlaştırma çalışmaları için kilit bir rol oynayacaktır.

Bu çalışma kapsamında önerilen hidrojene geçiş stratejisi ile, altyapı sağlayıcılarının yanı sıra endüstriyel ve özel tüketiciler için planlama ve yatırım ortamını daha güvenli hale getirecek altyapı, üretim ve tüketim tarafındaki önlemlerin senkronizasyonu için bir yol göstermek ve doğal gaz sektöründe yenilenebilir gaz ve düşük karbonlu gaz teknolojilerine geçiş stratejisinin oluşturulmasına öncülük etmek amaçlanmıştır.

Sorunsuz ve güvenli bir hidrojen geçişinin sağlanabilmesi için 9 ana konu üzerinden öneride bulunulmuştur

### 4.2.1. Çalışma Grubu Oluşturulması

Doğal gaz sektöründe hidrojene geçiş sürecinin başarılı ve güvenli yürütülmesi için tüm sektör paydaşlarını kapsayacak bir çalışma grubunun oluşturulması gereklidir. Oluşturulacak çalışma grubunda doğal gaz iletim, dağıtım, perakendeci ve depolama firmaları, devlet kurumları, sivil toplum kuruluşları, üniversiteler, müşteriler ve imalat sektöründen temsilcilerin olması gereklidir. Çalışma gruplarına alt gruplar oluşturularak, ayrıntılı teknik ve mevzuatsal konular ilgili uzmanlar tarafından alt gruplarda çalışılmalıdır. Bu çalışma gruplarının amacı, bugün sektörün karşı karşıya olduğu düzenleyici engelleri, iş vakalarını ve teknik sorunları analiz

ederek geçiş süreci stratejisini oluşturmaktadır.

#### 4.2.2. Gaz Kalitesi ve Güvenlik

Uluslararası gaz sektöründe doğal gaz şebekesine hidrojen enjeksiyonu için standart bir konsantrasyon oranı ve wobbe endeksi bulunmamaktadır.

Doğal gaza hidrojen enjeksiyonu ile wobbe endeksi, ısıl değer, metan emisyonu, yanma aralığı ve alev geri tepme gibi gaz kalitesini etkileyen değerlerde değişikler meydana gelmektedir. Karışım gazının kalitesi ve güvenli kullanımı için bu değerlerin yapılan ve yapılacak çalışmalarda ele alınması gereklidir.

Yapılan birçok çalışmada doğal gaz şebekesine herhangi bir miktarda hidrojen eklemek wobbe endeksinde bir azalmaya neden olur. Örneğin, hacimsel %10 hidrojen ilavesi wobbe endeksini %3 azaltır, doğal gazın hacimsel ısıl değerini ise yaklaşık %6,6 düşürürken kütlesel ısıl değerini arttırır<sup>60</sup>. Bunun nedeni gaz hidrojenin birim kütlesinin ısıl değeri, doğal gazın birim kütlesi ısıl değerinin yaklaşık 2.1 katı, birim hacim ısıl değeri olarak ise de doğal gazın yaklaşık %30'u kadardır.

Sera gazı emisyonu noktasında, hidrojen eklenmesi olumlu sonuçlar vermektedir. Hacimsel %30 hidrojen eklenmesi ile %12'ye kadar sera gazı emisyon azaltımı sağlanabilir.

Hidrojenin yanma sınır değerleri doğal gaza kıyasla daha geniştir. Hidrojen eklenmesi ile yanıcılık sınırlarının genişlemesi nedeniyle karışım gazındaki sızıntıların tutuşma olasılığı biraz daha

yüksek olur. Hidrojen/doğal gaz karışımlarının patlamaları biraz daha yüksek basına sahiptir ve bu nedenle daha

fazla hasara neden olabilir ancak risk artışı çok azdır. Ayrıca alevlerin boyutu da biraz azalır.

Hidrojen ilavesi ile alev hızında da artış olmaktadır. Örneğin %10'luk hidrojen eklenmesinde alev hızında yaklaşık %5'lik bir artış olmaktadır. Bu durumda alev geri tepmesine sebep olabilmektedir<sup>61</sup>.

Hidrojenin evde kullanımını özellikle sızıntı ve yanma riski açısından daha fazla güvenlik endişesi oluşturmaktadır. Örneğin, hidrojenin yanma riski doğal gaza 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<sup>62</sup>.

Hidrojen enjeksiyonu sonucunda gaz kalitesinde oluşan değişimler son tüketiciler açısında, özellikle gaz kullanan bazı endüstriler için teknik bir zorluk teşkil etmektedir. Endüstriyel süreçler üzerindeki olumsuz etkileri önlemek için kapsamlı teknik iyileştirme önlemleri gerekli olacaktır. Cam ve seramik endüstrisi gibi endüstriyel son tüketicilerin bazıları, gaz bileşimi ve kalitesindeki değişikliklere karşı oldukça hassastır. Hidrojen enjeksiyonunun endüstriyel lkte uygulanması için endüstriyel alanda daha fazla uygulama projesi ve testler gerekli olacaktır. Genel olarak, hassas endüstriyel proseslerde gaz kalitesindeki yüksek dalgalanmaların, enerji verimliliğini zayıflatacağı düşünülmektedir<sup>60</sup>.



Doğal gaz şebekesine aralıklı hidrojen eklendiğinde, gaz kalitesinde değişiklikler oluşmaktadır. Bu nedenle, hidrojen doğal gaz karışımının kalorifik değerinin, fiziksel özelliklerinin ve gaz bileşiminin doğru ölçümü öncelikli ihtiyaçtır. Ayrıca gaz akışının doğru ölçülmesi enerji faturalandırması açısından önem arz etmektedir.

Karışım gazının konsantrasyonu ölçmek ve bileşenlerini analiz etmek için kullanılacak gazı kromatografi cihazlarında da modifikasyonu veya yeni cihazlar kullanılmasını gerektirecektir.

Hidrojen gazının geçirgenliği, doğal gaza göre daha yüksektir. Özellikle hidrojen enjeksiyon oranının artması ile mevcut hatlarda ve gaz cihazlarında sızıntı riski artmaktadır. Mevcut gaz algılama cihazlarının çoğu ise hidrojene duyarlı değildir. Bu sebepten hidrojene duyarlı gaz algılama cihazlarının kullanılması gereklidir.

Doğal gaz sistemlerinde hidrojen kullanımında güvenlik tehlikesi oluşturabilecek durumlara (Alev tespiti, alev geri tepmesi, hidrojen sızıntısı, kokulandırma vb.) özel dikkat gösterilmesi ve uzun soluklu testler ile incelenmesi gerekmektedir.

Yapılacak Ar-Ge testleri sonrasında gaz şebekesinde kabul edilebilir bir hidrojen konsantrasyonu ve wobbe indeksi değerinin belirlenmesi ve ilgili gaz kalite standartlarının geliştirilip benimsenmesi gerekmektedir.

### 4.2.3. Teknik Uyum Çalışmaları

Hidrojenin boru hattıyla taşınması ve yurt içinde kullanılması, teknik ve güvenlik açısından önemli sorunlar teşkil etmektedir. Hidrojen kolaylıkla sızıntı yapabilir, metal boruların kırılmasına 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 çatlaklarının artmasına neden olabilmektedir<sup>63</sup>.

Şu anda dağıtım boru hatlarının yapısında veya tüketici cihazlarında 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 H<sub>2</sub> 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 H<sub>2</sub> karışımıyla çalışabilmektedir. CNG dolmuş istasyonları için ise %2'lik bir konsantrasyon sınırı belirtilmektedir<sup>64</sup>.

Hidrojen enjeksiyonu sonucunda evsel cihazlar, endüstriyel brülörler, gaz türbini brülörleri, gaz motorları ve CNG gibi müşteri ekipmanlarında bazı teknik sorunlar ön plana çıkmaktadır.

Gazbir-Gazmer'in Konya'daki Temiz Enerji Merkezi'nde evsel cihazların hidrojen katkılı doğal gazla uyumluluğunu sağlamak için testler devam etmektedir. Sırasıyla %5, %10, %15 ve %20 hidrojen ilavesi ile gerçekleştirilen testlerin ilk sonuçları olumlu olsa da uzun soluklu testlerin yapılması gereklidir. Yakıcı cihazlar (kombi, ocak, fırın, brülör), sayaçlar, regülatörler, fittingler, dışı bağlantı elemanları, polietilen ve çelik hatlarda hidrojen enjeksiyonu sonucu oluşabilecek sorunların tek tek ele alınması ve her bir ekipman için kabul edilebilir hidrojen konsantrasyonun belirlenmesi gereklidir.

Hidrojenin, Türkiye'nin doğal gaz sistemlerine uyarlanmasının yolları araştırılmalıdır. Geniş ölçekte hidrojen enjeksiyonuna geçilmeden önce dikkat edilmesi gereken çeşitli ölçüm gereksinimleri ve zorlukları araştırılıp tespit edilmesi gereklidir. Özellikle gaz kalitesi, malzeme uygunluğu, dağıtım, iletim, depolama mekanizmalarının ve mevzuatsal entegrasyonunun sektör paydaşları ile çalışılması gereklidir.

Hidrojen de doğal gaz gibi renksiz ve kokusuz bir gazdır. Gaz altyapısına hidrojen enjeksiyonu ile birlikte gaz kokulandırma işlemi de gerçekleştirilmesi gereklidir. Koku verici maddeleri hidrojen ile uyumlu olmalı ve son kullanım uygulamalarını etkilememelidir.

Bir diğer çözüm bulunması gereken konu ise hidrojenin depolanmasıdır. Mevcut doğal gaz depolama alanlarında hidrojenin depolanması için ölçüm, akış izleme ve verimlilik çalışmaları yürütülmelidir.

Doğal gaz dağıtım sistemleri büyük ölçüde polietilen borulardan oluşur. Yapılan hidrojen enjeksiyon çalışmalar sonucu genel görüş %20 hidrojen harmanlaya kadar polietilen borularda ekonomik ve güvenlik riski oluşturabilecek bir sızıntı oranı bulunmamaktadır. Ancak bağlantı elemanları artan hidrojen enjeksiyon oranı ile yüksek geçirgenlik oranlarına sahiptir. Bu problemin önüne geçilmesi için sızdırmaz bağlantı elemanları kullanılmalıdır.

Polietilen borulara kıyasla çelik borularda hidrojen kullanımı daha çok risk barındırmaktadır. Özellikle iletim hatlarında kullanılan çelik borular yüksek basınç ve hidrojen konsantrasyonundan dolayı zaman içerisinde daha kırılabilir hale gelmektedir. Çelik hatlardaki en büyük problem ise hidrojen gevreklemesidir. Gevreklemeden kaynaklanan patlama risklerini önlemek için önlemler alınmalıdır, bu da güvenli gaz iletim koşullarının değişmesine neden olabilir.

Dağıtım şebekesine hidrojen enjeksiyon testleri devam ederken, Türkiye'deki doğal gaz ürün imalatçıları da kısa vadede ekipmanlarını %20'lik hidrojen konsantrasyonuna uyumlu hale getirmeye çalışmaktadırlar;

- Ekipmanların güvenlik, verimlilik ve ömür testlerinin yapılması,

- Hidrojen harmanlama için kontrol ve sertifikasyon koşullarının oluşturulması,
- Yeni ekipman üretimi: hidrojen dedektörü, esnek bağlantı elemanları, gaz brülörü vb...

#### 4.2.4. Geçiş ve Entegrasyon Süreci

Türkiye doğal gaz sektöründe başarılı bir hidrojene geçişi sağlamak için kısa, orta ve uzun vadeli altyapı gelişiminin sağlanması gerekmektedir.

Kısa vadede mevcut altyapının kullanımına öncelik verilmelidir. Erken harmanlama, mevcut gaz ağlarının ve cihazlarının kullanımını geliştirecek ve test ederken, tam elektrifikasyonla birlikte gelecek yeni yatırım ve batık maliyetleri en aza indirecektir. İhracat, nakliye ve endüstriyel kullanım için yeni hidrojen altyapısının geliştirilmesi gerekeceğinden, dağıtım ağlarına bugünden hidrojen harmanlamaya başlanması tam hidrojene geçiş için önemli bir adım olacaktır.

Mevcut hatlara %10-20 arası hidrojen enjeksiyonu, dağıtım ağlarında kullanılan malzemeler ve bağlantılar için önemli bir teknik soruna yol açmamakta ve yüksek değişim maliyeti getirmemektedir. Ama karışım gazının güvenli kullanımının sağlanması için hem dağıtım şirketlerine hem de düzenleyici kurumlara izleme ve test ile ilgili maliyetler getirecektir.

Kısa vadede, küçük tüketim bölgelerine ya da büyük tüketici gruplarına gaz arzını sağlayan küçük doğal gaz ağlarına hidrojen enjeksiyonu yapılabilir.

Hidrojen enjeksiyonu ile oluşacak gaz yoğunluğu ve akış hızındaki değişkenlik, dağıtım hatları boyunca harmanlanmış gazın bileşimini etkileyecektir. Hidrojen tedariki kesintili ise enjeksiyon oranlarını dengelemek için hidrojen depolama tankları veya boru hatları kullanmak gerekli olabilir. Aynı zamanda hidrojen konsantrasyonundaki geniş varyasyonu önlemek için hidrojen enjeksiyon noktalarının basınç düşürme istasyonlarında veya birden fazla başka yerde konumlandırılması gerekebilir.

Orta vadede, mevcut doğal gaz altyapısının güçlendirilmesine ek olarak büyük ölçekli endüstriyel tüketici ve ulaşım sektörünün hidrojen talebinin karşılanması için yeni hidrojen altyapılarının oluşturulması gereklidir.

Uzun vadede ise, %100 hidrojen taşımacılığının kesintisiz sağlanması için mevcut doğal gaz altyapısının dönüştürülmesi ve/veya yeni hidrojen boru hatları inşa edilerek ulusal hidrojen ağı oluşturulmalıdır. Bu dönüşüm süreci boyunca kullanım güvenliğini sağlamak için mevcut cihazların modifikasyonu veya değiştirilmesi gerekecektir.

Uzun vadede elektrik ve gaz altyapısının birbirine bağlanması ile enerji, ulaşım, tarım, endüstriler ve ısıtma-soğutma sektörlerinde de hidrojen kullanım entegrasyonu sağlanmış olacaktır.

Kısa, orta ve uzun vadeli gaz altyapısı gelişimine uyumlu olarak hidrojen talebinin karşılanması için büyük ölçekli hidrojen üretim tesislerinin kurulum ve gaz altyapısına entegre planlarının da oluşturulması gereklidir.

#### 4.2.5. Doğal Gaz Kullanıcıları

Doğal gaz şebekesine hidrojen enjeksiyonunda doğal gaz aboneleri için ele alınması gereken en önemli konu gaz hizmetinin güvenliği ve emniyetidir.

Şu an için doğal gaz abonelerin hidrojen konusundaki farkındalığı çok zayıftır. Bilgi sahibi olan doğal gaz kullanıcılarının ise bazı endişeleri bulunmaktadır. Bu endişeler;

- Hidrojen kullanımı doğal gaz kadar güvenli olacak mı?
- Faturalarda artış olacak mı?
- Cihazlarda modifikasyon yada değişim olacak mı?

Doğal gaz kullanıcıların, şebekeye hidrojen harmanlamanın faydalarını anlamaları ve güvenlik endişelerinin giderilmesi için kullanıcılarla ilişki kurmak ve bilgilendirme yapılması çok önemlidir. Hidrojene geçiş sürecinde tüketiciler için hidrojen müşteri bilgilendirme sistemi gibi çeşitli iletişim kanallarının kurulması gerekecektir.

Doğal gaz müşterilerine hidrojenden kaynaklı fatura artışlarının yansıtılmaması önemlidir. Hidrojen üretim maliyetlerinin rekabet edebilir düzeye gelene kadar fiyatlarda sübvans sağlanabilir.

Tüketicilere tedarik edilecek karışım gazının ilk aşamalarında, mevcut cihazların değişime ve modifikasyona uğramayacak şekilde düşük oranda hidrojen konsantrasyonun sağlanması gerekir. İlerleyen aşamada daha yüksek hidrojen oranı ile çalışabilecek cihazlara geçiş için doğal gaz müşterilerine teşvikler sağlanabilir. Cihazların modifikasyonu

veya değişiminin sağlanabilmesi için kapsamlı bir dönüşüm programının hazırlanması gerekir. Bu sürecin aboneler üzerinde doğrudan bir etkisi olacağından dikkatli bir şekilde yönetilmesi gerekecektir.

#### 4.2.6. İnsan Kaynağı

Türkiye’de hidrojen ekonomisine yapılacak yatırımla beraber istihdam edilecek nitelikli insan kaynağına ihtiyaç duyulacaktır.

Mevcut çalışmalarda hem hidrojen hem de doğal gaz konusunda deneyimli ve uzman personel gerekliliği daha iyi anlaşılmıştır.

Nitelikli insan kaynağının yetiştirilmesi için eğitim kuruluşları tarafından hidrojen enerjisi sektöründe çalışacak personellere yönelik eğitim materyalleri ve eğitim faaliyetleri oluşturulması gereklidir.

Oluşturulacak eğitim modelleriyle yetiştirilecek olan personelin hidrojen enerji tesislerinin işletilmesinde dış bağımlılığın minimize edilmesine ve sektörün sağlıklı bir şekilde büyümesine de katkı sağlamış olacaktır. Aynı zamanda yatırım yapacak endüstri kuruluşlarında ihtiyaç duyduğu iş piyasasına uygun eleman bulabilme imkanı da artacaktır.

#### 4.2.7. Ar-Ge ve Yatırım

Türkiye’de çeşitli teorik ve laboratuvar ortamında doğal gaz sistemlerine hidrojen enjeksiyon projeleri yürütülmektedir. Hidrojenin pratikte mevcut şebeklere enjekte edilebilmesi için daha çok uygulama projesi yapılması gereklidir. Bu

ilerleme içinde yeni Ar-Ge teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi gereklidir.

Hidrojenin doğal gaz dağıtım ağına enjeksiyonu ile ilgili teknik, ticari ve düzenleyici konularda bir dizi bilgi boşluğu bulunmaktadır. Bu bilgi boşluklarının giderilmesi için hidrojen Ar-Ge'sine öncelik verilmelidir. Yürütülecek Ar-Ge çalışmaları sadece hidrojenin doğal gaz şebekesinde güvenilir ve emniyetli bir şekilde taşınmasıyla sonuçlanmayacak, aynı zamanda hidrojen üretimi, taşınması ve kullanımıyla ilişkili yaşam döngüsü maliyetinin düşürülmesine de yardımcı olacaktır.

Mevcut şebekelerin hidrojen adaptasyon sürecini hızlandırmak için bazı önemli alanlarda daha fazla Ar-Ge yapılması gereklidir. Öncelik verilmesi gereken Ar-Ge çalışmaları:

- Hidrojenin dağıtım altyapısı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi yapılmalı ve yakıt hücreleri ve elektrolizörler için daha iyi performans gösteren malzemelerin geliştirilmesi,
- Mevcut tuz mağaraları ve doğal gaz depolama alanları dahil olmak üzere hidrojen için büyük ölçekli depolama alanlarının geliştirilmesi,
- Sıvılaştırma ve amonyak dahil olmak üzere hidrojen için uzun mesafeli taşıma yöntemlerinin geliştirilmesi,
- Endüstriyel ve evsel cihazların hidrojen ile uyumluluğunun test edilmesi ve gerektiğinde yeni cihazların geliştirilmesi,
- Farklı basınçlarda her tür çelik, polietilen borular ve bağlantı elemanlarında hidrojen sızıntısı oranlarının daha kapsamlı araştırılması,

- Çelik ve polietilen borular uzun vadeli performansı testlerinin yapılması ve gerektiğinde geliştirilmiş performans özelliklerine ve bozulma direncine sahip yeni malzemelerin geliştirilmesi,
- Çelik hatlarda sık görünen hidrojen gevrekliği problemlerine çalışılması,
- Endüstriyel - ev tipi brülörlerde ve kontrol sistemlerinde gerekli olan değişiklikler kapsamlı bir şekilde ele alınması gereklidir,
- Hidrojen enjeksiyonunun her bir süreci için tekno-ekonomik analizinin yapılması gereklidir,
- Gaz akış ölçümü ve kaçak tespit araçlarının geliştirilmesi gereklidir,

Hidrojenin üretimi, iletimi, dağıtım, depolanması ve enjeksiyonu ile ilgili olarak teknik çalışmaların yanında maliyet araştırılması da yapılmalıdır. Maliyet araştırmasında öncelik verilmesi gereken alanlar:

- Yenilenebilir hidrojen üretim maliyeti,
- Hidrojen enjeksiyon lokasyonunda sıkıştırılması ve taşınması maliyeti,
- Hidrojen enjeksiyon yerinde depolanması maliyeti,
- Enjeksiyon için ölçüm ve test istasyonlarının yapımı maliyeti,
- Hidrojen üretimi, nakliye ve depolamayla ilgili işletme ve bakım maliyetleri,
- Gaz ekipmanlarının kullanım ömrü maliyetleri,

Hidrojenin diğer enerji kaynakları ile rekabet edebilmesi için üretim maliyetinin düşmesi gereklidir. Bu düşüş kamu ve işletmeler arasında daha fazla iş birliği ve yatırımla mümkün olabilir.

Şu an için Türkiye ve dünyada hidrojenin mevcut yatırım ölçeği diğer pazarlara göre çok küçüktür ve hidrojen pazarının büyümesi için kamu ve özel sektör yatırımlarının artması gereklidir.

Türkiye yeşil hidrojen üretimi açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Yapılacak yatırımlar uzun vadede enerji verimliliği ve karbonsuzlaştırma yönünden büyük avantajlar sağlayacaktır. Türkiye'nin yıllık 1,6 milyon tonluk yeşil hidrojen talebi(fosil yakıt yoğun tüketildiği sektörlerin yıllık enerji taleplerinin %5'ine denk) için minimum 45 milyar dolarlık bir yatırım ihtiyacı ortaya çıkacağı tahmin edilmektedir<sup>65</sup>.

#### 4.2.8. Mevzuat Çalışmaları

Türkiye'de doğal gaz hatlarına hidrojen enjeksiyonu için belirlenmiş düzenleyici bir çerçeve bulunmamaktadır. Şu an için hatlara hidrojen harmanlanmasına izin verilmemektedir.

Hidrojenin doğal gaza enjeksiyonuna yönelik yürütülen teorik ve laboratuvar düzeyindeki projelerin sonuçları mevzuatsal düzenlemeler için şu aşamada yeterli olmayacaktır. Mevzuatsal düzenlemelerin ele alınması için daha geniş ölçekli hidrojen harmanlama projelerin geliştirilerek sonuçlarının incelenmesi gereklidir.

Hidrojen için kapsamlı bir düzenleyici çerçeve geliştirmek zaman alacaktır. Düzenleme çerçevesinin, teknoloji, iş modelleri ve rekabet ortaya çıktıkça sektöre yanıt vermesi gerekecektir.

Hidrojen enjeksiyonu için onay ve düzenleyici süreçlerdeki sıkıntıların belirlenmesi gereklidir. Hidrojene bağlı

güvenlik risklerinin etkin bir şekilde düzenlenmesini sağlamak için sektör paydaşları arasında koordineli işbirliği oluşturulmalıdır.

Mevzuatsal düzenlemede hidrojenin güvenli ve emniyetli kullanımının sağlanmasının yanında ekonomik sürdürülebilirliğine ve rekabet edebilirliğine de odaklanılmalıdır.

Hidrojen enjeksiyonunun tüketiciler açısından güvenli, emniyetli ve ekonomik kullanımının sağlanması için geliştirilecek düzenlemelerde aşağıda belirtilen konulara da odaklanılmasın da fayda görüyoruz:

- Hidrojenin de dahil olduğu yenilenebilir ve düşük karbonlu gazlar için mevzuatsal sınıflandırılma yapılması,
- %100 hidrojen taşımacılığında kullanılacak yeni altyapı düzenlemeleri,
- Doğal gaz standartlarıyla karşılaştırılabilir hidrojen kalite standartlarının belirlenmesi,
- Son kullanıcılar tarafından gaz şebekeleri ve cihazlarından kaynaklanan emisyonların azaltılmasına yönelik yatırımı teşvik eden politika desteği,
- Rekabetçi bir pazar ortaya çıkmadan önce gelişmekte olan hidrojen pazarı için daha fazla esnekliğin sağlanması,
- Tarife ve fiyatlandırma mekanizmalarının belirlenmesi,

#### 4.2.9. Pazar Oluşumu

Jeopolitik konumu ve yenilenebilir enerji kaynağı potansiyeli ile Türkiye, küresel hidrojen pazarında güçlü bir yer edinme fırsatını yakalayabilir.

Öncelikle Türkiye, hidrojenin de dahil olduğu yenilenebilir ve karbondan arındırılmış gazlar için ulusal bir piyasa tasarımının hazırlaması gereklidir. Pazar tasarımı netleştirilerek ve sektör entegrasyonu desteklenerek rekabetçi bir hidrojen ekonomisinin temelleri atılabilir. Olgun bir hidrojen pazarı oluşması ise yeterli talep olduğunda ve mevcut bir hidrojen altyapısı olduğunda var olacaktır. Hidrojen pazarı oluşumu için iç pazarda yatırım ve reform yapılmalı ve aynı zamanda kısa, orta ve uzun vadeli uygulama planları hazırlanmalıdır.

Türkiye’de hidrojen, endüstri ve konutlarda doğal gazın yerini alma konusunda önemli bir potansiyele sahiptir. Hidrojenin doğal gaz sektöründe yaygınlaşmasını sağlamak için teşvik, sübvansiyon veya tarife garantisi gibi mekanizmalar geliştirilmesi gereklidir.

Uzun vadede, yerinde hidrojen üretim ve ulusal hidrojen ağlarının genişletilmesi öncelikli oluşturulacak pazar stratejisi sayesinde sınır ötesi hidrojen ticareti hacminin artması beklenebilir. Bu durum Türkiye için önemli ekonomik kazanımlar sağlayabilir.

Doğal gaz sektöründe 1990’ın ilk yarısında, imalatların %90’ı dışa bağımlı iken bugün müteahhitlik hizmetlerinin %100’ü tesis ve ürün kullanımının ise %90’ı milli üretim olarak gerçekleşmektedir. Benzer durum kademeli hidrojene geçiş sırasında da

gerçekleşebilir. Hidrojen enjeksiyonu neticesinde doğal gaz ekipman ve cihazlarında modifikasyona ya da yeni üretime ihtiyaç duyulacağından, yerli doğal gaz sektörü imalatçıları için de yeni bir pazar imkanı oluşabilir.

#### 4.3 Hedefler

Türkiye doğal gaz sektörü hidrojene geçiş stratejisinde ilk odak noktası, tüketicileri korurken mevcut gaz ağlarında yeniliği mümkün kılmak olmalıdır.

Bu rapor kapsamında 2050 yılına kadar Türkiye doğal gaz sektörü hidrojene geçiş yol haritası önerimiz 4 aşamadan oluşmaktadır;

- 2021 – 2025: Ar-Ge çalışmaları
- 2025 – 2030: Küçük ölçekli entegrasyon – Düşük hidrojen konsantrasyonu
- 2030 – 2040: Yeni altyapılar - Hidrojen konsantrasyonunda artış
- 2040 – 2050: %100 Hidrojene uyumlu gaz altyapısı

## TÜRKİYE DOĞAL GAZ SEKTÖRÜNDE HİDROJENE GEÇİŞ YOL HARİTASI

2021 – 2025	2025 – 2030	2030 – 2040	2040 – 2050
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Konutlarda, Dağıtım ve İletim Şebekelerinde Güvenlik Çalışmaları</li> <li>➤ Konut ve Sanayi’de Hidrojen Kullanımları için Pilot Çalışmalar</li> <li>➤ Evsel Cihazlar için Testlerin Yapılması</li> <li>➤ Hidrojen İnovasyon ve Demonstrasyon Projelerine Destek</li> <li>➤ Hidrojen Üretim ve Depolama Ar-Ge Çalışmaları</li> <li>➤ Harmanlama ve Teknoloji Hedefleri Oluşturmak</li> <li>➤ Mevzuat Çalışmalarına Başlanılması</li> <li>➤ Hidrojen Teşvik Politikalarının Belirlenmesi</li> <li>➤ Tüketiciler için Hidrojen Bilinçlendirme Çalışmalarına Başlanılması</li> <li>➤ İnsan Kaynağı Strateji ve Politikasının Belirlenmesi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Bölgesel Bazda Şebekelere Hidrojen Enjeksiyonunun Gerçekleştirilmesi (%10’a kadar)</li> <li>➤ Yenilenebilir ve Düşük Karbonlu Gaz Piyasasının Oluşturulması</li> <li>➤ Mevcut Şebekelere Yenilenebilir ve Düşük Karbonlu Gaz Karışımına İzin Verilmesi</li> <li>➤ Hidrojen Üretim, Depolama ve Taşıma için Küçük Ölçekli Tesislerin Kurulması</li> <li>➤ %100 Hidrojen Kullanım Testlerine Başlanılması</li> <li>➤ Dönüşüme Uyumlu Cihazların Üretimi için Sanayi Teşviklerinin Arttırılması</li> <li>➤ Sanayi ve Evsel Cihazlarda İyileştirilmenin Devam Etmesi</li> <li>➤ İnsan Kaynağına İlişkin Uygulamaların Tamamlanması</li> <li>➤ Hidrojenin Taşıma, İletim, Depolama, Dağıtım ve Tüketimine Yönelik Mevzuatın Belirlenmesi</li> <li>➤ Hidrojen Piyasa Oluşumu için Devlet Teşvikinin Başlatılması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Hidrojen Hatlarının Oluşturulması</li> <li>➤ Hidrojen Üretimine Arttırılması</li> <li>➤ Sanayi ve Evsel Cihazlarda Dönüşümün Hızlanması ve Yerli Üretim Arttırılması</li> <li>➤ Bölgesel Bazda Şebekelere Hidrojen Enjeksiyonunun Arttırılması (min %20)</li> <li>➤ %100 Hidrojen Kullanımının Olduğu Pilot Yerler</li> <li>➤ Özel Hidrojen Depolama Alanlarının Oluşturulması</li> <li>➤ Endüstriyel Kümelerin, Hidrojen Depolama ve Üretim Tesislerine Hidrojen Hatları ile Bağlanması</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Konut ve Sanayide Hidrojenin Yaygın Kullanımı</li> <li>➤ Dağıtım Hatlarının %100 Hidrojene Uyumlu Olması</li> <li>➤ Hidrojen İhracatının Başlaması</li> <li>➤ Yeterli Hidrojen Üretim ve Depolama Kapasitesinin Oluşturulması</li> </ul>



## 5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

- Hidrojen sadece karbondan arındırma vasıtası olmakla kalmayıp, enerji depolama ve aktarım aracı olarak kullanılabilir.
- Tamamen hidrojene dayalı bir tedarik sistemine geçilmesi uzak bir gelecektir ve önemli derecede devlet desteği gerektirecektir. Rüzgar ve güneş enerjisinin gelişimine benzer şekilde hidrojen teknolojilerinde gelişimin olması beklenmektedir.
- 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.
- Jeopolitik konumu ve yenilenebilir enerji kaynağı potansiyeli ile Türkiye, küresel hidrojen pazarında güçlü bir yer edinme fırsatını yakalayabilir.
- Yerli enerji kaynaklarına dayalı yeni bir enerji ekosistemi (Hidrojen Ekonomisi) oluşturulabilir.
- Hidrojenin gaz şebekesine entegre edilmesinin, düşük karbonlu ekonomiye geçişi kolaylaştıracağı öngörülmektedir.
- Hidrojenin taşınmasında, nihai kullanıcıya ulaştırılmasında, depolanmasında ve karbonsuzlaştırma çalışmalarında doğal gaz şebekeleri kritik rol üstlenmektedir.
- Türkiye, gelişmiş, genç ve yaygın doğal gaz altyapısı sayesinde hidrojen ekonomisine geçişini birçok ülkeye kıyasla daha hızlı gerçekleştirebilir.
- Hidrojen taşıma, tedarik ve kullanımına yönelik revize edilmiş ya da yeni, sağlıklı ve güvenli bir çerçevenin geliştirilmesi gerekmektedir.
- Emniyetli ve güvenli bir hidrojene geçiş için Türkiye doğal gaz sektörü hidrojene geçiş yol haritasının belirlenmesi gereklidir.
- Sektörün tüm paydaşlarının yer alacağı geniş katımlı çalışma gruplarının oluşturulması gereklidir.
- Doğal gaz şebekesine hidrojen enjeksiyonu ile ilgili karışım oranı ve gaz kalite standartlarının geliştirilip benimsenmesi gerekmektedir.
- Hidrojen enjekte oranına göre cihazlarda modifikasyona veya yeni nesil cihazların kullanımına ihtiyaç duyulabilir. Bu durumdan kaynaklı oluşabilecek yeni bir pazar için yerli doğal gaz sektörü imalatçıların şimdiden planlama yapmasında fayda vardır.
- Hidrojene geçişte doğal gaz sistemlerine yönelik mevcut düzenleyici ve ticari çerçevenin yenilenmesi gerekecektir.
- İleriye dönük hidrojen ve doğal gazın rekabetçi toptan satışının oluşturulması, enerjinin dengelenmesi ve taşımacılığın

ücretlendirilmesi için çalışmaların başlatılması gereklidir.

- Doğal gaz abonelerinin hidrojen konusunda farkındalıklarının artmasına yönelik bilinçlendirme çalışmaları planlanmalıdır.
- Doğal gaz sistemlerinde hidrojene geçiş ve entegrasyon sürecinin kısa, orta ve uzun vadeli planlarının hazırlanması gereklidir.
- Hidrojen konusunda yetkin ve deneyimli insan kaynağının yetiştirilmesi için eğitim altyapısı oluşturulmalıdır.
- Hidrojen üretim maliyetlerinin düşmesi ve doğal gaz sistemlerinde güvenli kullanımı için daha çok Ar-Ge çalışması yapılmalıdır.
- Hidrojenin doğal gaz dağıtım ağına enjeksiyonu ile ilgili teknik, ticari ve düzenleyici konularda birçok bilgi boşluğu bulunmaktadır. Bu bilgi boşluklarının giderilmesi için yeni Ar-Ge teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi gereklidir.
- Karbonsuz bir gelecekte doğal gaz altyapılarının sürdürülebilirliğini sağlamak için hidrojenin de dahil olduğu yenilenebilir ve düşük karbonlu gaz teknolojilerine yatırım ve teşvikin artırılmasında fayda vardır.

## 6. KAYNAKÇA

- 1)[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Sep/IRENA\\_Hydrogen\\_from\\_renewable\\_power\\_2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Sep/IRENA_Hydrogen_from_renewable_power_2018.pdf)
- 2)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
- 3)<https://www.iea.org/commentaries/latin-america-s-hydrogen-opportunity-from-national-strategies-to-regional-cooperation>
- 4)[https://www.bakermckenzie.com/-/media/files/insight/publications/2020/01/hydrogen\\_report.pdf?la=en](https://www.bakermckenzie.com/-/media/files/insight/publications/2020/01/hydrogen_report.pdf?la=en)
- 5)<https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2017/11/Hydrogen-scaling-up-Hydrogen-Council.pdf>
- 6)<https://www.weltenerierat.de/international-hydrogen-strategies/>
- 7)<https://www.dnvg1.com/oilgas/perspectives/governments-get-serious-about-hydrogen.html>
- 8)[https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-system-integration/hydrogen\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-system-integration/hydrogen_en)
- 9)[https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/20190206\\_Hydrogen%20Roadmap%20Europe\\_Keynote\\_Final.pdf](https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/20190206_Hydrogen%20Roadmap%20Europe_Keynote_Final.pdf)
- 10)[https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/energy\\_climate\\_change\\_environment/events/documents/02\\_b\\_mf33\\_background\\_-\\_bdi\\_-\\_an\\_industry\\_roadmap\\_for\\_climate\\_friendly\\_gases.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/energy_climate_change_environment/events/documents/02_b_mf33_background_-_bdi_-_an_industry_roadmap_for_climate_friendly_gases.pdf)
- 11)<https://www.euractiv.com/section/energy/news/spain-approves-hydrogen-strategy-to-spur-low-carbon-economy/>
- 12)<https://www.cliffordchance.com/briefings/2020/10/focus-on-hydrogen--a-7-2-billion--strategy-for-hydrogen-energy-i.html>
- 13)[https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/nagashima\\_japan\\_hydrogen\\_2020.pdf](https://www.ifri.org/sites/default/files/atoms/files/nagashima_japan_hydrogen_2020.pdf)
- 14)<https://www.kas.de/documents/274425/8492225/Analysis+of+the+Australian+Hydrogen+Strategy.pdf/ae45d460-115e-d618-27d4-49959d047d11?version=1.0&t=1597804885621>
- 15)<https://www.nrcan.gc.ca/climate-change/the-hydrogen-strategy/23080>
- 16)Hydrogen Roadmap for Europe, Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking, 2019
- 17)[https://www.gie.eu/download/brochure/HYDROGEN\\_023.pdf](https://www.gie.eu/download/brochure/HYDROGEN_023.pdf)
- 18)<https://www.frontier-economics.com/uk/en/news-and-articles/news/news-article-i7784-import-of-hydrogen-and-low-carbon-gas-to-europe-the-role-of-lng-terminals/>
- 19)<https://www.iea.org/reports/hydrogen>
- 20)<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/5602f358-c136-11ea-b3a4-01aa75ed71a1/language-en>
- 21)<https://www.euramet.org/european-metrology-networks/energy-gases/strategic-research-agenda-eg/>
- 22)[https://gasforclimate2050.eu/sdm\\_downloads/2020-gas-decarbonisation-pathways-study/](https://gasforclimate2050.eu/sdm_downloads/2020-gas-decarbonisation-pathways-study/)
- 23)[https://gasforclimate2050.eu/sdm\\_downloads/european-hydrogen-backbone/](https://gasforclimate2050.eu/sdm_downloads/european-hydrogen-backbone/)
- 24)<https://hydeploy.co.uk/>

- 25)<https://www.h21.green/>
- 26)<https://www.energyvoice.com/renewables-energy-transition/hydrogen/uk-hydrogen/282781/fife-green-hydrogen-network/>
- 27)<https://www.nationalgrid.com/uk/gas-transmission/document/133841/download>
- 28)<https://www.ft.com/content/6c112691-fa2f-491a-85b2-b03fc2e38a30>
- 29)<https://www.h2-view.com/story/900m-net-zero-infrastructure-plan-proposed-by-britains-gas-networks/>
- 30)[https://www.energynetworks.org/assets/images/ENA\\_GGG\\_6.1D\\_Proposition%20on%20a%20page\\_FINAL%20APPROVED.pdf](https://www.energynetworks.org/assets/images/ENA_GGG_6.1D_Proposition%20on%20a%20page_FINAL%20APPROVED.pdf)
- 31)<https://energynetworks-newsroom.prgloo.com/news/gas-grid-companies-plot-course-to-britains-first-hydrogen-town>
- 32)<https://www.reuters.com/article/us-germany-gas-conference-idUSKBN1Y01UI>
- 33)<https://www.eon.com/en/about-us/media/press-release/2020/unique-project-in-germany-natural-gas-pipeline-is-converted-to-pure-hydrogen.html>
- 34)<https://www.westkueste100.de/en/>
- 35)<https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-h2-messrichtigkeit>
- 36)<https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/dvgw-h2-wasserstoff-forschungsprojekte-broschuere-en.pdf>
- 37)<https://www.cleanenergywire.org/news/germanys-gas-grid-operators-present-concept-2030-green-hydrogen-grid>
- 38)<https://www.cleanenergywire.org/news/germanys-gas-grid-operators-present-concept-2030-green-hydrogen-grid>
- 39)<https://www.bdew.de/presse/presseinformation/bdew-stellt-roadmap-gas-vor/>
- 40)<https://www.engie.com/en/businesses/gas/hydrogen/power-to-gas/the-grhyd-demonstration-project>
- 41)<http://www.grtgaz.com/en/press/press-releases/news-details/article/hydrogen-lancement-du-projet-mosahyc.html>
- 42)<https://www.jupiter1000.eu/english>
- 43)<http://www.grtgaz.com/en/solutions-for-the-future/energy-solutions-with-a-future/power-to-gas.html>
- 44)<https://www.topsectorenergie.nl/sites/default/files/uploads/TKI%20Gas/publicaties/Overview%20Hydrogen%20projects%20in%20the%20Netherlands%20versie%201mei2020.pdf>
- 45)<https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-hydrogen/netherlands>
- 46)[https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/file\\_attach/Brochure%20FCH%20Netherlands%20%28ID%209474122%29.pdf](https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/file_attach/Brochure%20FCH%20Netherlands%20%28ID%209474122%29.pdf)
- 47)[https://afry.com/sites/default/files/2020-03/the\\_role\\_of\\_portuguese\\_gas\\_infrastructure\\_in\\_the\\_decarbonisation\\_process.pdf](https://afry.com/sites/default/files/2020-03/the_role_of_portuguese_gas_infrastructure_in_the_decarbonisation_process.pdf)
- 48)<https://fuelcellsworks.com/news/portuguese-government approves hydrogen strategy-e7b-investments/>
- 49)<https://econews.pt/2020/11/24/portugal-two-green-hydrogen-projects-to-kick-off-by-year-end/>
- 50)<https://www.powerengineeringint.com/renewables/european-energy-giants-partner-on-h2sines-green-hydrogen-production-project/>

- 51) <https://flexnconfu.eu/>
- 52) <https://www.nrel.gov/news/program/2020/hblend-project-to-accelerate-potential-for-blending-hydrogen-in-natural-gas-pipelines.html>
- 53) <https://www.prnewswire.com/news-releases/socalgas-launches-first-power-to-gas-project-in-us-300064534.html>
- 54) <https://arena.gov.au/blog/green-hydrogen-injection-plan-for-vic-and-sa-grids/>
- 55) [http://www.coagenergycouncil.gov.au/sites/prod.energycouncil/files/publications/documents/nhs-hydrogen-in-the-gas-distribution-networks-report-2019\\_0.pdf](http://www.coagenergycouncil.gov.au/sites/prod.energycouncil/files/publications/documents/nhs-hydrogen-in-the-gas-distribution-networks-report-2019_0.pdf)
- 56) <https://www.evoenergy.com.au/about-us/media-centre/2018-12-02-hydrogen-test-facility>
- 57) <https://www.energynetworks.com.au/resources/reports/gas-vision-2050-hydrogen-innovation/>
- 58) [https://www.igu.org/app/uploads/wp/2020/06/GGR-2019\\_vF.pdf](https://www.igu.org/app/uploads/wp/2020/06/GGR-2019_vF.pdf)
- 59) [https://www.hidrojenteknolojileri.org/HTD/Turkiye\\_icin\\_Hidrojen\\_Teknolojileri\\_Yol\\_Haritasi\\_Raporu\\_2021.pdf](https://www.hidrojenteknolojileri.org/HTD/Turkiye_icin_Hidrojen_Teknolojileri_Yol_Haritasi_Raporu_2021.pdf)
- 60) <https://www.energynetworks.com.au/resources/reports/identifying-the-commercial-technical-and-regulatory-issues-for-injecting-renewable-gas-in-australian-distribution-gas-networks-research-report-energy-pipelines-crc/>
- 61) <https://app.trdizin.gov.tr/makale/T1RJME5qVTE/hidrojenle-zenginlestirilmis-metan-yakitinin-alev-hizlari-ve-emisyon-degerlerinin-kimyasal-kinetik-analizi>
- 62) 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.
- 63) 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.
- 64) Taamallah S. and friends Fuel flexibility, stability and emissions in premixed hydrogenrich gas turbine combustion: technology, fundamentals, and numerical simulations. Appl Energy 2015;154:1020e47.
- 65) [https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2021/02/turkiyenin\\_ulusal\\_hidrojen\\_stratejisi\\_icin\\_onicalik\\_alanlari.pdf](https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2021/02/turkiyenin_ulusal_hidrojen_stratejisi_icin_onicalik_alanlari.pdf)



Esentepe Mah. Cevizli D100 Güney Yanyol No:25 / 2073 Lapis Han 34860 Soğanlık - Kartal / İstanbul  
Telefon: 0216 388 81 11 Faks: 0216 388 81 00  
e-posta: info@gazmer.com.tr