

# YEŞİL HİDROJEN RAPORU





## ÖZET \*

Enerji dönüşümü, elektrik üretiminde fosil yakıtlardan güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir kaynaklara büyük bir geçişi, daha fazla enerji verimliliği ve enerji kullanımlarının arabalardan, binalarda ısıtma ve soğutmaya kadar yaygın bir şekilde elektrifikasyonunu gerektiriyor. Bununla birlikte tüm sektörler fosil yakıtlardan elektriğe kolayca geçiş yapamaz. Elektrifikasyonu zor sektörler arasında **çelik, çimento, kimyasallar, uzun mesafeli karayolu taşımacılığı, deniz taşımacılığı ve havacılık** bulunmaktadır.

Henry Cavendish, hidrojen elementini 1766'da keşfetti. Hidrojen, "Suyun (hidro-) yaratıcısı (-gen)" anlamına gelir ve yanması sadece su açığa çıkarır. Bu element evrendeki en bol kimyasal yapıdır. İlk endüstriyel su elektrolizörü 1888'de geliştirildi.

Hidrojen, birden çok işlem ve enerji kaynağı ile üretilebilir ve bu konuda bir renk kodu terminolojisi yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 1'de bu renk kodu terminolojisi gösterilmektedir.

**Şekil 1 - Hidrojen Renkleri**

Color	GREY HYDROGEN	BLUE HYDROGEN	TURQUOISE HYDROGEN*	GREEN HYDROGEN
Process	SMR or gasification	SMR or gasification with carbon capture (85-95%)	Pyrolysis	Electrolysis
Source	Methane or coal 	Methane or coal 	Methane 	Renewable electricity 

Note: SMR = steam methane reforming.

\* Turquoise hydrogen is an emerging decarbonisation option.

**GRİ HİDROJEN**, fosil yakıtlarla (yani metandan buhar metan reformlama (SMR) veya kömür gazlaştırma kullanılarak üretilen hidrojen) ile üretilir. Gri hidrojenin kullanımı CO2 emisyonu salımı yapar bu ise bu tür hidrojen teknolojilerini net sıfır emisyonu doğru bir yol için uygunsuz kılmaktadır.

Enerji geçişinin ilk aşamalarında, **MAVİ HİDROJEN** (yani, karbon yakalama ve depolamalı gri hidrojen [CCS]) kullanımı, bir hidrojen pazarının büyümesini kolaylaştırabilir.

\* "Green Hydrogen: A Guide to Policy Making", [IRENA](#)

Hidrojenin yaklaşık dörtte üçü şu anda doğal gazdan üretiliyor. Bununla birlikte, mavi hidrojenin dağıtımını şimdiye kadar kısıtlayan sınırlamaları vardır: sınırlı kaynakları kullanır, fosil yakıt fiyat dalgalanmalarına maruz kalır ve enerji güvenliği hedeflerini desteklemez. Ayrıca mavi hidrojen, CO<sub>2</sub> nakliyesi ve depolaması için ek maliyetlerle ilişkili olduğundan ve depolanan CO<sub>2</sub>'nin izlenmesini gerektirdiğinden, sosyal kabul sorunlarıyla karşı karşıyadır. Ek olarak, CCS yakalama verimliliğinin en iyi ihtimalle %85-95'e ulaşması beklenmektedir, bu da CO<sub>2</sub>'nin %5-15'inin yine de salımı anlamına gelir. Özetle, hidrojen üretiminden kaynaklanan karbon emisyonları CCS ile azaltılabilir, ancak ortadan kaldırılamaz. Dahası, bu süreçler metan kullanır ve metan, CO<sub>2</sub>'den molekül başına çok daha güçlü bir sera gazıdır (GHG). Bu, mavi hidrojenin CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltabileceği ancak net sıfır geleceğin gereksinimlerini karşılamadığı anlamına gelir. Bu nedenlerle, mavi hidrojen, net sıfır emisyonlara giden yolda yeşil hidrojenin artışını kolaylaştırmak için yalnızca kısa vadeli bir geçiş olarak görülmelidir.

**TURKUAZ HİDROJEN**: Piroliz süreci boyunca, metan içindeki karbon katı karbona dönüşür. Ek bir gelir akışı sağlayan bir katı karbon pazarı zaten mevcuttur. Katı Karbon, gaz halindeki CO<sub>2</sub>'den daha kolay depolanabilir. Şu anda, turkuaz hidrojen hala pilot aşamadır.

**YEŞİL HİDROJEN** yenilenebilir enerjiden üretilen hidrojen anlamına gelir ve tamamen sürdürülebilir bir enerji geçişi için en uygun olanıdır. Yeşil hidrojen üretmek için en fazla kurulmuş teknoloji seçeneği, yenilenebilir elektrik kullanan su elektrolizidir. Bu teknoloji, bu raporun odak noktasıdır. Yenilenebilir enerjiye dayalı diğer çözümler de hidrojen üretiyor. Bununla birlikte, biyogazlı SMR haricinde, bunlar henüz ticari ölçekte olgun teknolojiler değil. Elektroliz yoluyla yeşil hidrojen üretimi net sıfır rotası ile tutarlıdır, sektör bağlantısından kaynaklanan sinerjilerin kullanılmasına izin verir, böylece teknoloji maliyetlerini düşürür ve elektrik sistemine esneklik sağlar. Düşük değişken yenilenebilir enerji (VRE) maliyetleri ve teknolojik gelişme, yeşil hidrojen üretim maliyetini düşürüyor. Bu nedenlerden dolayı, su elektrolizinden elde edilen yeşil hidrojen artan ilgi görmektedir.

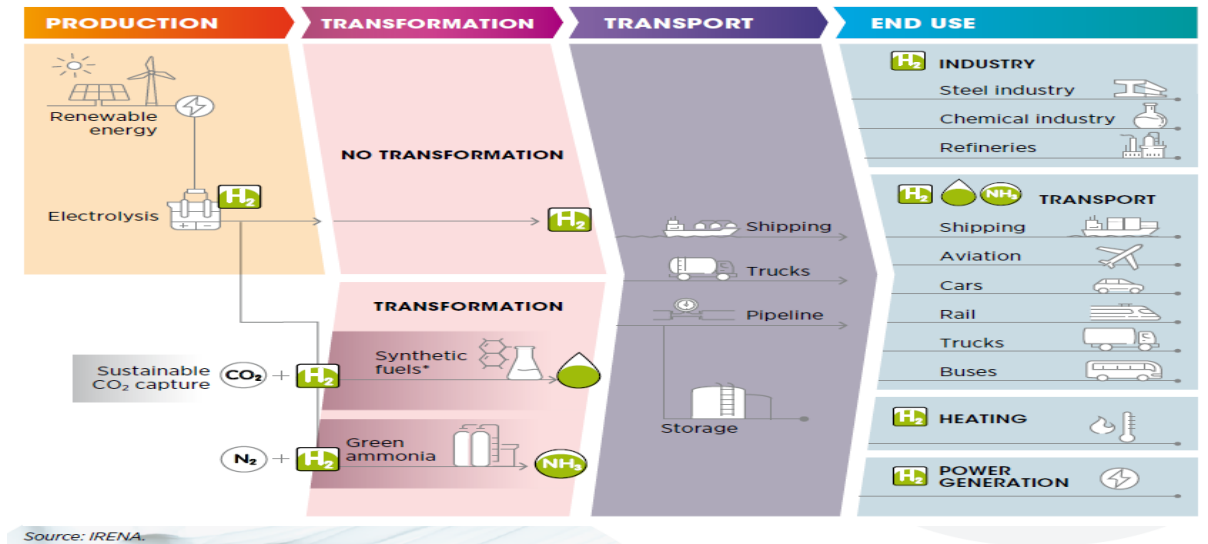
Yeşil hidrojen, büyüyen ve sürdürülebilir yenilenebilir elektrik üretimi ile elektrifikasyonu zor sektörler arasında birleşik bir çözüm sunar. Hidrojen genel olarak elektrik şebekelerinden uzak veya yüksek enerji yoğunluğu gerektiren uygulamalar için uygun bir enerji taşıyıcısıdır ve bir dizi sentetik yakıt üretimde kimyasal reaksiyonlar için bir hammadde olarak hizmet edebilir. Yeşil hidrojenin ek faydaları ise şunları içerir: değişken yenilenebilir enerjinin (VRE) daha fazla konuşlandırılmasını destekleyen ek sistem esnekliği ve depolama potansiyeli; enerji güvenliğine katkı, hava kirliliğinin azaltılması, ekonomik büyüme, istihdam yaratma ve endüstriyel rekabet gücü gibi diğer sosyo-ekonomik faydalar. Yine de yeşil hidrojenin potansiyelini tam olarak yerine getirmesi için çeşitli engelleri aşması gerekecektir. Bu engellerin başında maliyet geliyor. Engelleri aşmak ve yeşil hidrojeni niş bir oyuncudan yaygın bir enerji taşıyıcısına dönüştürmek, teknolojiye hazır olma, pazara giriş ve pazar büyümesinin her aşamasında özel bir politika gerektirecektir. İlk direncin üstesinden gelmek ve pazara

\* "Green Hydrogen: A Guide to Policy Making", [IRENA](#)

giriş için minimum bir eşiğe ulaşmak için entegre bir politika yaklaşımına ihtiyaç vardır. Bu politika yaklaşımı dört temel unsura dayanır: **ulusal hidrojen stratejileri oluşturma, politika önceliklerini belirleme, bir yönetim sistemi oluşturma ve politikaları etkinleştirme** ve **yeşil hidrojenin menşeinin garanti altına alınması için bir sistem oluşturma.**

Yeşil hidrojen, birçok farklı uygulamada kullanılabilen bir enerji taşıyıcısıdır. Bununla birlikte, gerçek kullanımı hala çok sınırlıdır. Her yıl dünya çapında yaklaşık **120 milyon ton** hidrojen üretiliyor; bunun üçte ikisi saf hidrojendir ve üçte biri diğer gazlarla karışım halindedir. Hidrojen çoğunlukla ham petrol rafinasyonu, saf ve karışık hidrojen talebinin neredeyse %75'ini temsil eden amonyak ve metanol sentezi için kullanılır. Bugünün hidrojen üretimi, çoğunlukla üretimin %95'ini oluşturan doğal gaz ve kömüre dayanmaktadır.

### Şekil 2 - Yeşil Hidrojen Üretimi, Dönüşümü ve Enerji Sistemi Genelinde Son Kullanımlar



Geçmişte hidrojene birkaç dönemde ilgi artmıştır. Bunlar çoğunlukla petrol fiyatı şoklarından veya hava kirliliğiyle ilgili endişelerden ve alternatif yakıtlarla ilgili araştırmalardan kaynaklanıyordu. Hidrojene olan yeni ilgi dalgası, düşük karbonlu çözümler ve yalnızca yeşil hidrojenin sağlayabileceği ek faydalar sağlamaya odaklanıyor. Yeşil hidrojen için bu yönelmenin altında şu etkenler yatmaktadır: Düşük değişken yenilenebilir enerji (VRE) elektrik maliyetleri, ölçeklendirmeye hazır teknolojiler, elektrik sistemi için faydaları, net sıfır enerji sistemleri odaklı hükümet hedefleri, daha yaygın hidrojen kullanımı, çok sayıda paydaş çıkarları.

## YEŞİL HİDROJENİN ÖNÜNDEKİ ENGELLER

1. Yüksek üretim maliyetleri
2. Özel altyapı eksikliği

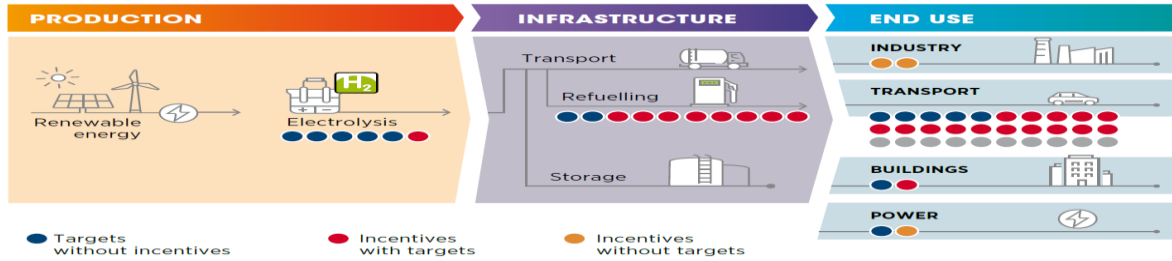
\* "Green Hydrogen: A Guide to Policy Making", [IRENA](#)

3. Enerji kayıpları Elektroliz yoluyla hidrojen üretmek için kullanılan enerjinin yaklaşık %30-35'i kaybolur. Ek olarak, hidrojenin diğer taşıyıcılara (amonyak gibi) dönüşümü %13-25 enerji kaybına neden olabilir ve hidrojenin taşınması, tipik olarak hidrojenin kendi enerjisinin %10-12'sine eşdeğer olan ek enerji girdileri gerektirir.
4. Tanınma eksikliği
5. Sürdürülebilirliğinin sağlanması gereklidir.

## YEŞİL HİDROJENİ DESTEKLEME POLİTİKALARI

2019 yılına kadar, hidrojen en az **15** ülkede ve Avrupa Birliği'nde destekleyici politikalarla destekleniyordu. Bu politikalar, çeşitli son kullanımlarda hidrojen kullanımını doğrudan veya dolaylı olarak teşvik etti. Bununla birlikte, hidrojen için kara taşımacılığı kullanımına daha önce odaklanıldığı için, politikaların yaklaşık üçte ikisi ulaşım sektörünü hedefledi. Ancak son iki yıl, dünya çapında artan ilgi ile yeşil hidrojen politikaları için oyunun kurallarını değiştiren bir süreci temsil etti. Pek çok ülke (Avrupa Birliği ile birlikte Avusturya, Avustralya, Kanada, Şili, Fransa, Almanya, İtalya, Fas, Hollanda, Norveç, Portekiz ve İspanya dahil) ulusal hidrojen stratejilerini ve temiz hidrojen için destek önlemleri içeren paketleri duyurdu, hazırladı veya yayınladı.

**Şekil 3 - Değer Zincirinin Segmentine göre Küresel Düzeyde Hidrojen Politikası Sayısı**



Yeşil hidrojen destekleme politikasının aşamaları:

1. İlk aşama: Teknolojiye hazırlık
2. İkinci aşama: Pazara girme
3. Üçüncü aşama: Pazar büyümesi

## YEŞİL HİDROJEN POLİTİKASININ TEMELLERİ

Yeşil hidrojeni niş bir oyuncudan yaygın bir enerji taşıyıcısına geçirmek, ilk direncin üstesinden gelmek ve pazara giriş için minimum eşiğe ulaşmak için entegre bir politika yaklaşımı gerektirecektir. Gerekli olan yüksek yatırım seviyeleri, genel olarak, kamu sermayesinin tek başına hidrojeni nişten yaygın hale taşımak için yeterli olmadığı anlamına gelir.

\* "Green Hydrogen: A Guide to Policy Making", [IRENA](#)

## POLİTİKA TEMELİ 1: ULUSAL STRATEJİLER

Yakın zamanda açıklanan hidrojen stratejileri uzun bir sürecin sonucudur ve yeni bir politika dalgasının başlangıcını işaret etmektedir. Strateji süreci genellikle teknolojinin temel ilkelerini anlamak, gelecek aşamaları bilgilendirecek bilgi tabanını geliştirmek ve bu erken aşamada son uygulamalar olduğu için birden fazla teknoloji ve olasılığı keşfetmek için Ar-Ge programlarının oluşturulmasıyla başlar.

Bir sonraki adım genellikle "neden" i açıklayan bir vizyon belgesidir: "neden hidrojen", "neden bu yetki alanı" ve "neden şimdi". Vizyon belgesi, araştırmaya, endüstri çabalarına ve erken gösterim programlarına rehberlik eden bir işareti temsil ediyor. Böyle vizyon belgeleri genellikle hükümetler ve özel aktörler tarafından birlikte oluşturulur ve çığır açan uygulamaların büyüme beklentilerinden etkilenirler.

Sonraki adımda daha ileri giden bir yol haritası var. Hidrojen potansiyelini daha iyi değerlendirmek için gereken faaliyetlerle entegre bir plan tanımlanır. Hidrojeni yaygın hale getirmek için gereken kısa vadeli eylemleri tanımlanır ve en yüksek önceliğe sahip araştırma alanlarını ve demonstrasyon projelerine en çok ihtiyaç duyulan uygulamalar belirlenir. Son olarak, stratejinin kendisi hedefleri tanımlar, somut politikaları ele alır ve bunların mevcut enerji politikasıyla tutarlılığını değerlendirir. Bu analizlerden sonra, güncel düzenlemeler ve kanunlar çıkarılır, ardından bunları ilerlemeye ve son trendlere göre ayarlamak için düzenli revizyonlar yapılır.

Ar-Ge'den stratejiye kadar olan bu süreç doğrusal veya hızlı olmaktan uzaktır. Dahası, ülkeler burada açıklanan halka açık adımları atlayabilir ve araştırma faaliyetlerini gizli tutarken ulusal bir hidrojen stratejisi yayınlayabilir.

## POLİTİKA TEMELİ 2: YEŞİL HİDROJEN POLİTİKA ÖNCELİKLERİ OLUŞTURMA

Ülkelerin belirli koşulları vardır. Sonuç olarak, ulusal yeşil hidrojen politika yapıcıları, politika önceliklerini oluşturmak için hidrojen değer zincirinin her bir bölümü için temel faktörleri dikkatlice değerlendirmelidir. Bunlar, ülkenin yenilenebilir kaynaklarının boyutunu, enerji sektörünün olgunluğunu, mevcut ekonomik rekabet gücü seviyesini ve potansiyel sosyo-ekonomik etkilerini içerir.

Ülkeler net sıfır emisyon ve yeşil hidrojen stratejilerini geliştirirken, politika önceliklerini belirlemek için üç temel kavramı hatırlamak faydalı olabilir:

1. Hidrojen, fosil yakıtların tam ikamesi değildir.
2. En yüksek değerli uygulamaları belirleme ihtiyacı
3. Yenilenebilir enerji ilavesi ilkesi

\* "Green Hydrogen: A Guide to Policy Making", [IRENA](#)

### POLİTİKA TEMELİ 3: MENŞEİ ŞEMASININ GARANTİSİ

Yeşil hidrojen molekülleri gri hidrojenin molekülleri ile aynıdır. Bu nedenle, hidrojen üretildikten sonra, son kullanıcıların ve hükümetlerin hidrojenin kaynağını ve kalitesini bilmesini sağlayan bir sertifikasyon sistemine ihtiyaç vardır.

Menşei takip etmek için kullanılan şemalar genellikle bir "menşe garantisi" (GO) olarak adlandırılır. Hidrojen durumunda bir örnek, Avrupa Birliği'ndeki CertifHy projesidir. Program, yeşil veya düşük karbonlu hidrojen için 76.000'den fazla GO çıkardı ve bunların 3.600'ü 2019 yılına kadar kullanıldı. Bu, toplam AB pazarının %0,05'inden azını kapsayan bir pilot projeydi ve sertifikaların %4'ünden azı aslında yenilenebilir enerjiden geliyordu. Hidrojen, karbondan arındırma amaçları için doğrudan elektrifikasyondan veya biyoenerji kullanımından daha etkili olabilir.

Biyoyakıtların taşınması, biyoyakıt sertifikasyon programlarında, hammaddelerin ve biyoyakıtların nasıl ve ne kadar uzağa taşındığı dikkate alınarak hesaba katılır. Hidrojen GO planlarının da bunu yapması gerekir, çünkü özel bir rüzgâr çiftliğinden üretilen ve daha sonra dizel kamyonlarla taşınan hidrojen, bir boru hattında taşınan şebeke elektriği ile üretilen hidrojenden daha büyük bir karbon ayak izine sahip olabilir.

Son olarak, GO şemaları, yeşil hidrojenin uluslararası ticaretine izin vererek küresel bir pazar yaratmaya yardımcı olacak şekilde tasarlanmalıdır. Uluslararası iş birliğine bir örnek, Ekonomide Hidrojen ve Yakıt Hücreleri için Uluslararası Ortaklığın Hidrojen Üretim Analizi Görev Gücüdür (IPHE, 2020). Görev gücü, farklı ülkelerde temiz hidrojeni tanımlamak ve standartlaştırmak ve GO için ortak bir planın oluşturulmasını kolaylaştırmak için uyumlu bir metodoloji ve terminoloji geliştirmeyi amaçlamaktadır. GO planları, en azından karbon-yoğun hidrojen artık üretilmeye kadar, yeşil bir hidrojen sisteminin temel unsurlarından biri olacaktır. Bununla birlikte, yeşil hidrojenin büyümesini sağlamak için başka kolaylaştırıcı politikalara ihtiyaç duyulacaktır.

### POLİTİKA TEMELİ 4: YÖNETİŞİM SİSTEMİ VE ETKİNLEŞTİRME POLİTİKALARI

Yeşil hidrojen nişten yaygın hale geçerken, geçişi yönlendiren politikalar yalnızca yeşil hidrojenin yayılmasını değil, aynı zamanda daha geniş enerji sistemine entegrasyonunu da kapsamalıdır. Geçişin sürdürülebilirliğini ve hızını etkileyen ekonomi genelindeki politikalardır.

Geniş bir destek tabanı, yeşil hidrojen aktörlerinin tüm enerji ve sosyal sisteme değerlerini sağlamaları için elverişli bir ortam yaratabilir. Bu hedefleri göz önünde bulundurarak, politika yapıcıların alabileceği somut adımlar şunları içerir:

- Sivil toplumdan ve endüstriden tavsiye almak.
- Endüstriyel rekabetçiliği sürdürmek ve ihracat fırsatları yaratmak için tedbirlerin uygulanması.
- Ekonomik büyüme ve iş yaratma fırsatlarının belirlenmesi

\* "Green Hydrogen: A Guide to Policy Making", [IRENA](#)

- Uluslararası kodları ve standartları belirlemek
- Altyapının oluşturulması veya yeniden kullanılması
- Finansmana erişimin sağlanması
- İstatistiklerin toplanması
- Araştırma önceliklerinin belirlenmesi
- •Fosil yakıt sübvansiyonlarının aşamalı olarak kaldırılması

## ELEKTROLİZ İÇİN POLİTİKA DESTEĞİ

Yeşil hidrojen, yenilenebilir elektrikten elektroliz yoluyla üretilir. Elektroliz teknolojisi olgunlaşmış olsa da bugün kullanılan tüm hidrojenin yaklaşık %95'i hala fosil yakıtlardan üretilmektedir. Yeşil hidrojen üretimi için su elektrolizi, birkaç yüz demonstrasyon projesinde yaklaşık **200 MW** elektrolizör kapasitesiyle sınırlıdır.

Yeşil hidrojen üretiminin önündeki en büyük engel maliyettir ki şu anda üretimi gri hidrojenin iki ila üç kat daha pahalıdır. Yeşil hidrojenin daha geniş kullanımının önündeki bir başka engel de sağlayabileceği değerin tam olarak tanıtılmamış olmasıdır. Hidrojen halka açık değildir: Şu anda kullanılmakta olan hidrojen çoğunlukla yerinde üretimden ve şirketler arasındaki ikili anlaşmalardan gelmektedir. Bu nedenle, sınır ötesi ticareti mümkün kılmak ve piyasa aktörlerinin gücünden yararlanmak için yeşil hidrojen pazarı oluşturulmalıdır. Bu pazarın sürdürülebilir üretimin değerini içermesi gerekecek ve bu da yeşil hidrojen değerli bir varlık haline geldikçe elektrolizörlerin artışı hızlandırılacaktır. Tüm bu engeller dikkatle tasarlanmış politikalarla aşılabılır. Bu politikalar şunları içerir:

- Elektrolizör kapasitesi için hedef belirleme
- Yüksek sermaye maliyetiyle mücadele
- Elektrolizörler için vergilerin iyileştirilmesi
- Yeşil hidrojen için prim ödeme
- Yenilenebilir enerji üretiminin ilave olmasını sağlamak.
- Araştırma için artan bir şekilde destek sağlanması

## HİDROJEN ALTYAPISI İÇİN POLİTİKA DESTEĞİ

Yeşil hidrojen üretmek için kullanılacak geniş yenilenebilir kaynaklar mevcuttur. Bununla birlikte, güneş PV'sininki gibi potansiyelin büyük bir kısmı, hidrojenin kullanılacağı yerlerden çok uzaktaki çöllerde bulunur. Elektrolizörler talebe daha yakın yerleştirilse bile, hidrojenin yine de taşınması gerekebilir. Sonuç olarak, yeşil hidrojen ve hidrojen bazlı sentetik yakıtların depolanması ve taşınması için altyapıya ihtiyaç duyulacaktır.

\* "Green Hydrogen: A Guide to Policy Making", [IRENA](#)

Hidrojen kamyon, gemi veya boru hattı ile taşınabilir. Hidrojen gaz halinde hacimce düşük bir enerji içeriğine sahiptir (örneğin metandan üç kat daha az), ancak bir kez basınçlandırıldığında, doğal gazla aynı enerji akışına sahip boru hatlarından taşınabilir. Hidrojeni nakletmek için, hacimce daha fazla enerji içeriği için sıvılaştırılabilir veya amonyak veya sıvı organik hidrojen taşıyıcılarına (LOHC) dönüştürülebilir. Bu dönüşümler, sıvılaştırma ve sürekli soğutma için ek enerji tüketimi gerektirir.

Depolamaya gelince, hidrojen çelik tanklarda veya yer altı jeolojik oluşumlarda depolanabilir. Tüm ülkelerde olmasa da uygun yeraltı oluşumlarına sahip mevcut toplam kapasite çok geniştir. Örneğin, Avrupa'daki potansiyel hidrojen depolama kapasitesi yaklaşık **2.500 Mt** veya **82,8 petawatsaattir**. Ayrıca, hidrojen LOHC'lere, yeşil metanole veya sentetik hidrokarbonlara dönüştürüldüğünde, yakıtlar mevcut tanklar, boru hatları ve diğer altyapılar kullanılarak depolanabilir ve taşınabilir. Aslında, enerji geçişinin ilk aşamalarında yeşil hidrojen, mevcut boru hatlarında ve kullanımlarında doğal gazla düşük oranlarda harmanlanabilir. Yeşil hidrojen üretimi ve kullanımı arttıkça yeni altyapıya ihtiyaç duyulacaktır. Erken aşamalarda, üretilen hidrojenin çoğunu mevcut doğal gaz altyapısıyla harmanlama veya yerinde veya yakınında kullanma olasılığı mevcut olabilir. Ancak bu kullanımlar bile zorluklar ve maliyetlerle birlikte gelir. Benzer şekilde, ülkeler şu anda farklı harmanlama sınırlarına sahiptir.

Almanya halihazırda **5.900 km**'lik doğal gaz boru hatlarını hidrojene uygun hale dönüştürmeyi planlıyor (toplam ulusal ağın yaklaşık %15'i) ve ilk **1200 km**'si 2030'a kadar tamamlanacak. Bu tür bir dönüşüm, yeni sıkıştırma istasyonlarına ve basınç regülatörlerine yatırım gerektirir. Ek olarak, hidrojen üretim merkezlerini talep merkezlerine bağlamak için yeni hidrojen boru hatlarına ihtiyaç duyulabilir. Yenilenebilir kaynaklar, talep merkezlerinden çok uzaklara yerleştirildiğinde, yeşil hidrojeni yerinde amonyağa dönüştürmek ve ardından hidrojen yerine amonyağı taşımak tercih edilebilir. Bunu başarmak için, hidrojeni amonyağa ve diğer enerji taşıyıcılarına ve yakıtlara dönüştürmek için tesislere ihtiyaç duyulacaktır.

Yeşil hidrojenin potansiyelinin farkına varmak, nakliye ve depolamadaki zorlukların üstesinden gelmek için dikkatli bir politika gerektirecektir. Geleceğin altyapısını planlamaya şimdi başlamak önemlidir; Elektrik şebekesinin planlanmasına benzer şekilde, bu tür planlamanın etkileri bundan on yıllar sonra görülecektir.

Hidrojen altyapısı için politika yapıcılar şunları dikkate almalıdır:

- Küresel hidrojen ticareti konusunda uluslararası iş birliğini başlatmak
- Dönüşüm programları için önceliklerin belirlenmesi
- Standartları düzenlemek ve hedefleri uyumlu hale getirmek
- Altyapı geliştirmenin finansmanı

\* "Green Hydrogen: A Guide to Policy Making", [IRENA](#)



## ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARDA HİDROJEN KULLANIMI İÇİN POLİTİKA DESTEĞİ

Yeşil hidrojene dönüştürmek, şu anda enerji ile ilgili tüm CO2 emisyonlarının (veya 8,4 GtCO2 / yıl) yaklaşık dörtte birinden sorumlu olan sanayi sektöründen karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. Özellikle dört endüstri- **demir ve çelik, kimyasallar ve petrokimyasallar, çimento ve kireç** ve **alüminyum** - toplam endüstriyel emisyonların yaklaşık dörtte üçünü oluşturmaktadır.

Gri hidrojen şu anda metanol ve amonyak üretmek için kullanılmaktadır. Yeşil hidrojen, ekipman veya teknolojiye hiçbir değişiklik olmadan çoğunun yerini alabilir ve gri hidrojen üretimiyle ilişkili emisyonları ortadan kaldırabilir.

Küresel çeliğin %70'inden fazlası, çoğunlukla kömüre dayanan yüksek fırın / bazik oksijen fırını (BF-BOF) vasıtasıyla üretiliyor. Yenilenebilir enerjilerin hem enerji hem de indirgeme aracı olarak fosil yakıtların yerini almasıyla demir ve çelik yapımında yapısal bir değişime ihtiyaç vardır.

Sanayide yeşil hidrojenin daha fazla kullanılmasının önündeki başlıca engeller yüksek maliyetler, yatırımcıların güveni, rekabet gücü ve politika odağının olmamasıdır. Hidrojen bazlı ve fosil yakıt bazlı süreçler arasındaki maliyet farkı, yere ve uygulamaya göre değişecektir. Ancak şu anda yeşil hidrojen kullanımı önemli ölçüde bir karbon fiyatı veya başka bir ayarlama uygulanmadıkça fosil yakıtlardan daha pahalıdır. Yeşil amonyak (yeşil hidrojenden yapılan amonyak) gri amonyaktan iki veya üç kat daha pahalıdır ve yeşil metanol gri metanolden üç ila dört kat daha pahalıdır. Dahası, hidrojene dayalı endüstriyel süreçler henüz tam olarak kanıtlanmamıştır. Büyük sermaye yatırımı kararları veren yatırımcılar, genellikle yeşil hidrojen faaliyetlerine yatırım yapmakla ilişkili riskleri tam olarak değerlendirmek için yeterli bilgiye sahip değildir. Çelik ve kimyasallar gibi emtialar küresel olarak alınıp satılır ve genellikle ulusal ticaret politikalarının önemli bileşenleridir. Ulusal endüstrilerin rekabet gücü bu nedenle hem hükümetler hem de şirketler için büyük bir endişe kaynağıdır. İyileştirilmiş enerji verimliliğine ihtiyaç duyulurken, politika yapıcılar odaklarını yakıta kaydırmalıdır. Bu engellerin üstesinden gelmek için politika yapıcılar, mevcut endüstriyel süreçler ile yeşil hidrojen kullanımı arasındaki maliyet farkını kapatmak, yeşil hidrojen pazarlarını teşvik etmek ve karbon kaçağı gibi sorunları ele almak için önlemler almalıdır. Bu tür politikalar şunları içerir:

- Sanayi politikasını yeşil hidrojene uyarlamak
- Yüksek emisyon teknolojilerini aşamalı olarak kaldırmayı planlamak
- Krediler, hibeler veya özel fonlar sağlama
- Yeşil ürünlerin değerini kabul etmek
- Düşük karbonlu ürünler için hızlı başlangıç pazarları
- Karbon kaçağını ele almak

\* "Green Hydrogen: A Guide to Policy Making", [IRENA](#)

## HAVACILIKTA SENTETİK YAKITLAR İÇİN POLİTİKA DESTEĞİ

Havacılık, küresel enerji ile ilgili emisyonların %2,5'ini oluşturmaktadır. Uçaklar kütle ve hacim sınırlamaları nedeniyle yüksek enerji yoğunluklu yakıtlara bağımlıdır. Yeşil hidrojenden üretilen sentetik jet yakıtları, karbondan arındırmada biyojet yakıtlarını tamamlayan yakıtlar olarak rol oynayabilir. Sentetik jet yakıtları, hidrojen ve bir karbon kaynağından üretilir (genellikle CO şeklinde veya CO<sub>2</sub>) ve fosil yakıtlardan elde edilen rafine ürünlerle aynı fiziksel özelliklere sahip hidrokarbonlardır. Elektrikli tahrik, küçük uçaklar ve kısa mesafeli uçuşlar için uygun olabilir. Uçaklarda hidrojenin doğrudan kullanımı da düşünülmektedir.

Uçaklar için sentetik yakıtlar çok pahalıdır ve şu anda fosil jet yakıtından sekiz kat daha pahalıdır. Maliyet bileşenleri, elektrik maliyetlerini, elektrolizörlerin ve sentez tesislerinin maliyetini, işletim maliyetlerini ve ihtiyaç duyulan karbonu temin etme maliyetlerini içerir.

Politika yapımcılar, sentetik yakıtlar kullanarak havacılıktan kaynaklanan emisyonları azaltma fırsatından yararlanmak için şunları dikkate alabilir:

- Havacılıkta emisyonları azaltmak için açık hedefler belirlemek.
- Sentetik yakıtlara daha fazla odaklanmak.
- Fosil yakıtlar ile sentetik yakıtlar arasındaki maliyet farkını azaltmak için finansal teşvikler sağlamak.
- Sürdürülebilir bir karbon kaynağını garanti etmek.

## DENİZCİLİKTE HİDROJEN KULLANIMI İÇİN POLİTİKA DESTEĞİ

Deniz taşımacılığı, halihazırda yük taşımacılığının en verimli şeklidir; belirli bir ağırlık ve mesafe için demiryolu taşımacılığına göre %30 ve ağır hizmet kamyonlarından %90 daha az enerji kullanır. Ancak şu anda kullanımda olan ve tüm küresel ticaretin %80-90'ını taşıyan **95.000 gemi**, 2015 yılında toplam küresel enerjiyle ilgili emisyonların %2,8'ine denk gelen önemli miktarda CO<sub>2</sub> (930 MtCO<sub>2</sub>) salmaktadır.

Gemiler tarafından kullanılan yakıtın dörtte üçünden fazlasını sağlayan ağır fuel oil ile, gemiler aynı zamanda en büyük kükürt, partikül ve diğer hava kirleticileri yayarlar. Küresel nakliye filosunun yaklaşık %20'si, denizcilik sektörü ile ilişkili net GHG emisyonlarının %85'inden sorumludur. Bu nedenle, sınırlı sayıda müdahalenin denizcilik sektörünün karbondan arındırılmasında büyük etkisi olabilir. Bataryalar veya yakıt hücreleri yoluyla elektrifikasyon, kısa mesafe için önemli bir rol oynayabilir. Biyoyakıtlar, nakliye sektörünün karbonsuzlaştırılması için ister karışımlarda ister ikame yakıt olarak hemen kullanılabilir bir seçenektir. Ancak, potansiyelleri şu anda sınırlıdır. Yeşil hidrojen önemli bir rol oynayabilir. Ek olarak, yeşil amonyak, en uygun düşük karbonlu yakıt yollarından biri olarak ortaya çıkmaktadır. Lider üreticiler 2024 yılında amonyakla çalışacağı ümit edilen motorlar üzerinde çalışıyor.

\* "Green Hydrogen: A Guide to Policy Making", [IRENA](#)

Diğer sektörlerde olduğu gibi, daha yüksek maliyetler bir engeldir. Yakın zamanda yapılan bir araştırma, ana yakıt olarak yeşil amonyak kullanarak uluslararası denizciliği karbondan arındırmak için en az **1 trilyon ABD doları** yatırıma ihtiyaç olduğunu gösteriyor. Maliyetlerin ötesinde, teknik ve pratik engeller de vardır. Aynı miktarda enerji için gemiler, amonyak kullanmak için mevcut tanklardan üç ila dört kat daha büyük ve sıvı hidrojen için %40 daha büyük yakıt tanklarına ihtiyaç duyacaktır. Ek olarak, amonyak korutik ve aşındırıcıdır ve bu nedenle özel yakıt kullanımı gerektirirken, hidrojeni sıvılaştırmak önemli ölçüde ek enerji gerektirir. Bu yakıtlar ayrıca yeni bir yakıt ikmal altyapısı gerektirir.

Denizcilikte politika yapıcılar şunları göz önünde bulundurmalıdır:

- Mali teşviklerin uygulanması.
- Yeşil denizcilik yakıtları için talep yaratmak. Örneğin, hükümetler gerekli sayıda sıfır emisyonlu gemi için hedefler belirleyebilir. Veya yakıtlara karıştırılan sentetik yakıt düzeylerini artıran zorunluluk getirebilirler.
- Altyapı geliştirilmesinin desteklenmesi.
- Uluslararası politika ve düzenlemelerin desteklenmesi.

\* "Green Hydrogen: A Guide to Policy Making", [IRENA](#)