



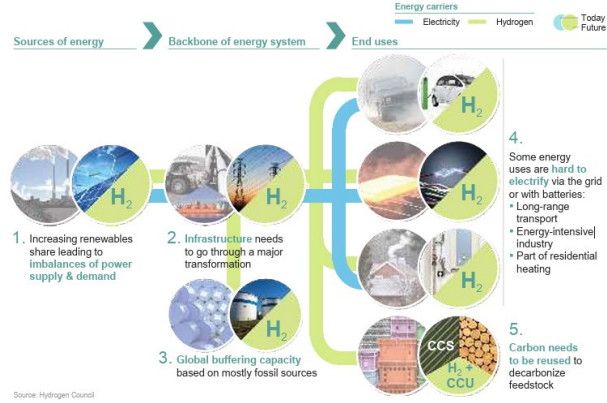
SANAYİDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK POLİTİKALARI FORUMU

Bilgilendirme Dokümanı

Hidrojen Nedir? & Neden Önemlidir?

Nedir? Neden Önemli?

Hidrojen Tipleri & Enerji Dönüşümündeki Rolü



Nedir?

- Hidrojen; çok amaçlı bir enerji taşıyıcısı ve endüstride birçok alanda kullanılan sinai gaz türüdür. Yenilenebilir kaynaklardan elde edildiği takdirde enerji üretiminde sıfır emisyon sağlar.
- Elektrikten moleküle dönüşebildiği için (elektroliz), depolanabilir/taşınabilir bir enerji formu sunar; gerektiğinde tekrar elektriğe, ısıya veya ulaşımda yakıta döner.
- Bu yönleriyle hidrojen enerji dönüşümünün «İsviçre Çakısı» olarak konumlandırılmaktadır.



Neden Önemlidir?

- Azaltımın zor olduğu sektörlerde (çelik, kimya, gübre, rafineri, ağır taşımacılık) karbonsuzlaşma yolculuğunun ana bileşendir.
- Yenilenebilir enerji entegrasyonu ve şebeke esnekliği: Aşırı üretim anlarında elektriği H₂'ye çevirir; eksik anlarında geri besler, şebekeye yedek ve yardımcı hizmet sağlar.
- Uzun süreli/mevsimsel depolama: Batarya vb. alternatiflerin kapasite/süre kısıtlarını aşarak mevsimselliği dengeleyen depolama sunar.
- Enerji güvenliği ve bölgesel aktarım: Yüksek enerji yoğunluğu ve iletim/taşıma kolaylığı sayesinde enerjinin bölgesel kullanımı ve sektörler arasında esnek biçimde dağıtmayı mümkün kılar.



Hidrojen Tipleri / Renk Kodları

- Yeşil Hidrojen:** Yenilenebilir kaynaklardan gelen elektrik ile suyun elektrolizi ile elde edilen hidrojen tipidir.
- Mavi Hidrojen:** Doğal gazdan SMR yöntemi ile hidrojen eldesi sırasında karbon yakalama ile emisyonun %90-95 azaltıldığı hidrojen tipidir.
- Gri Hidrojen:** Doğal gazdan SMR yöntemi ile elde edilen hidrojen tipidir.
- Pembe Hidrojen:** Nükleer enerji ile elde edilen elektrik ile suyun elektrolizi ile elde edilen hidrojen tipidir.



Enerji Dönüşümündeki Rolü

- Yenilebilir kaynaklardan üretilen fazla elektriğin H₂'ye çevrilip ihtiyaç anında kullanımını sağlamak mümkündür. Böylelikle şebeke dengesi sağlanır.
- Mevsimler arası enerji depolanır. Bataryaların süre sınırını tamamlar.
- Elektrikten moleküle dönüşümü mümkün kılar. Sektörler arası köprü görevi görür. Enerjinin sanayi – ulaşım – binalar arasında aktarımını mümkün kılar.
- Emisyonu azaltır.
- Sentetik yakıt* (e-yakıt) kullanımını mümkün kılar.

*Sentetik (e-yakıt) yakıt: Yenilenebilir elektrikle üretilmiş yeşil hidrojen (H₂), havadan/tesislerden yakalanan CO₂ ile birleştirilerek petrol türevi yakıtların sentetik eşdeğerleri yapılır. Buna genel olarak Power-to-Liquids/Gas denir. Uçak ve büyük gemiler gibi elektriğe doğrudan geçmesi zor alanlarda, bu sentetik yakıtlar mevcut motor/altyapıyla (belirli karışım oranlarıyla) kullanılabilirdiği için emisyonları düşürmeye yardımcı olur.

Avrupa Birliği Hidrojen Stratejisi ve Yol Haritası



Strateji dökümanı
için tıklayınız

4 MEXT

1 2030 Vizyonu ve Hedefler

Hedef:

- AB'nin iklim-nötr ekonomiye geçişinde hidrojeni tamamlayıcı enerji taşıyıcısı olarak ölçeklemek.

Kapsam:

- 2030'a kadar AB içinde 10 Mt, AB dışında 10 Mt yenilenebilir H₂ arzı.
- AB genelinde yaklaşık 40 GW elektrolizör kurulumu (üretim ve tedarik zinciri ile birlikte)

Öncelik:

1. Sanayi Hammade/İsı

Amonyak, metanol , rafineri süreçlerinde gri hidrojenin yerine yenilebilir H₂ koymak

2. Ulaşım

Özellikle ağır kara taşımacılığı ve denizcilik öncelikli. Havacılıkta e-yakıt karışımı

3. Enerji Sistemi

Uzun süreli depolama, şebeke esnekliği ve talep yönetimi

Tamamlama Yaklaşımı:

- Düşük karbonlu mavi hidrojen H₂ (CCS ile) yalnızca geçişi hızlandırıcı ve arz güvenliğini destekleyici bir rol oynar; orta-uzun vadede ana eksen yenilenebilir H₂ olarak nitelendirilen yeşil hidrojenidir.

¹Final Investment Decision (FID): Nihai yatırım kararı

²RED III: Yenilenebilir Enerji Direktifi (Renewable Energy Directive) 2023'te güncellenmiş sürümü

³RFNBO: Biyolojik olmayan kökenli yenilenebilir yakıtlar (Renewable Fuels of Non-Biological Fuels)

⁴AFIR: AB Alternatif Yakıtlar Altyapı Tüzüğü (Alternative Fuels Infrastructure)

⁵TEN-T: Avrupa Kıtasal Ulaşım Ağı (Trans European Transport Network)

2 Politika Araçları ve Piyasa Tasarımı

European Hydrogen Bank (EHB):

- Üretim penceresi: Yenilenebilir H₂ için fiyat farkı ihaleleri (10 yıla kadar sabit prim; "pay-as-bid").
- İthalat penceresi: AB dışı projelerden uzun dönemli alım sinyali ve talep güvencesi.
- Beklenen etki: İlk dalgada maliyet farkını kapatma, FID¹ hızlandırma, öğrenme eğrisi.

Avrupa Ortak Çıkarı Niteliğindeki Önemli Projeler (Hy2Tech/Hy2Use)

- Elektrolizör/FC üretimi, sanayi dönüşüm projeleri, depolama-taşıma çözümleri; ölçek ve yerleşme.

Talep tarafı & sektör mevzuatı:

- RED III²: Sanayide ve ulaşımda ³RFNBO payı zorunlulukları (kademeli artış).
- AFIR⁴: TEN-T⁵ boyunca H₂ ikmal istasyonları için asgari yaygınlık ve kapasite hedefleri.
- ReFuelEU Aviation / FuelEU Maritime: e-yakıt ve düşük emisyonlu yakıt karışım yükümlülükleri.

Karbon fiyatlandırma ve rekabet:

- ETS/CBAM ile gri hidrojen/yoğun karbon proseslere karşı fiyat sinyali; geçişte geçici devlet yardımı (TCTF) çerçevesi.

3 Yol Haritası ve Kilometre Taşları

2020–2021 (Başlangıç):

- AB Hidrojen Stratejisi yayımlandı; eylem planı ve fon kanalları açıldı.
- İlk H₂ vadileri ve sınır-ötesi altyapı fikir projeleri (repurpose/doğalgaz hatları).

2022 (Hızlandırma):

- REPowerEU ile 10+10 Mt hedefi ve arz-talep hızlandırıcı paket.
- IPCEI dalgaları onaylanmaya başladı; ulusal stratejiler güncellendi.

2023–2024 (Piyasa Sinyali):

- EHB pilot ihaleleri; ilk sözleşme ve prim mekanizmaları.
- RED III ve AFIR kabulü (ReFuelEU/FuelEU)
- Sertifikasyon/izlenebilirlik kuralları netleşti; garanti-menşei sistemleri

2025–2027 (Ölçekleme):

- Sanayide ilk ticari dönüşümler (çelik/kimya) ve uzun vadeli alım sözleşmeleri.
- H₂ ikmal ağı TEN-T koridorlarına yayılıyor; depolama ve amonyak/methanol lojistiği pilotları.
- Sınır-ötesi boru hattı bağlantıları ve ihracat-ithalat koridorları (Akdeniz, Kuzey Denizi, Baltık).

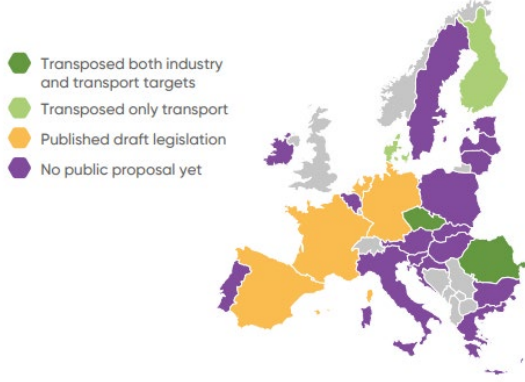
2028–2023 (Pazar Oluşumu):

- 10+10 Mt hedefine yaklaşım; birim maliyetlerde öğrenme kazanımları.
- E-yakıt tedarik zinciri

2030–2050 Ufku:

- Kıtalararası H₂ taşınımı ve entegre H₂ AB piyasası

Ülke Stratejileri & Projeler



Ülke stratejilerini incelemek için tıklayınız.

Durum	Adet
Yayınlanmış	25
Taslak	3
Yayınlanmamış	4
TOPLAM	32

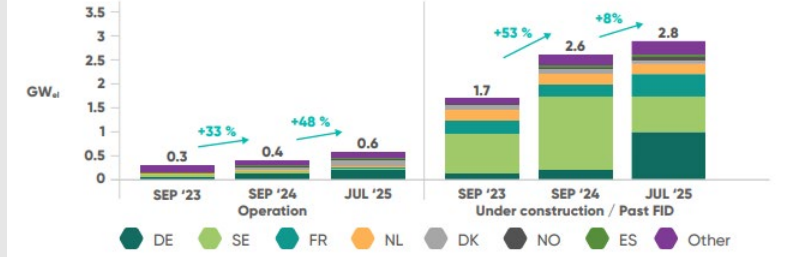
1 Hazırlanan Stratejiler & Temel Unsurlar

Stratejileri şekillendiren temel başlıklar

- İklim hedefi ve stratejik öncelikler
- Ulusal enerji üretim portföyleri & yenilenebilir enerji potansiyeli
- Sanayi politikaları ve rekabetçilik yaklaşımı
 - Elektrolizör, borulama, yakıt hücresi gibi değer zinciri halkalarında yerli üretim
 - Yüksek istihdam politikası
- Enerji arz güvenliği ve ithalat & ihracat dengesi
 - Rusya krizi sonrası bağımlılığı azaltma
 - Hidrojen ve türevlerini ihraç & ithal etme dengesi
- Endüstrilerde ölçeklenme
 - «Hard to abate» sektörler, metanol , rafineri ve uzun mesafe ağır taşımacılık ön planda
- Arz Yönetimi
 - İspanya, Portekiz güneş ve rüzgar & Fransa, Çekya nükleer dominasyonu
 - Bazı stratejiler mavi hidrojeni önceliklendirmektedir.
- Altyapı & Sistem Entegrasyonu
 - Ulusal Hidrojen Boru Hattı Omurgasına uyum
 - Yer altı depolama & Hidrojen dolum istasyonları
 - Elektrik şebekesi esnekliğine katkı
- Piyasa Tasarım, Teşvik
 - Hidrojen alım ihaleleleri, yeşil fark ödemesi
- Standartlar, Sertifikasyon ve Sürdürülebilirlik
- Ar-Ge, İnovasyon, Yetkinlik & Tedarik Zinciri

2 Genel Görünüm & Projeksiyonlar

Operational and under construction water electrolysis capacity by July 2025



- Operasyonda **571 MW** elektrolizör kurulu gücü vardır. **2.800 MW** kurulum aşamasındadır. Projelerin %94'ü 8 ülkede yoğunlaşmıştır. Buna rağmen EU Hydrogen Strategy'de hedeflenen 2024 yılı için **6 GW kurulu güç hedefine ulaşmada zorluk yaşanmaktadır.**
- Avrupa'nın 2030 yılında 1-5 Milyon ton arasında , 2050 yılında ise 10-41 Milyon ton arasında temiz hidrojen ithal etme potansiyeli vardır.
- Bloomberg NEF çalışmasına göre ABD, Brezilya, Şili, Suudi Arabistan, Kanada, Avustralya Avrupa'ya ihracat konusunda ön plana çıkan ülkeler arasındadır.

Hayata Geçen Bazı Projeler



Puertollano Green Hydrogen

- Kurulum Tarihi: 2022
- Endüstri: Amonyak & gübre
- Elektrolizör kapasitesi : 20 MW
- 100 MW GES & bataya sistemi desteği



HYBRIT Pilot Tesisi

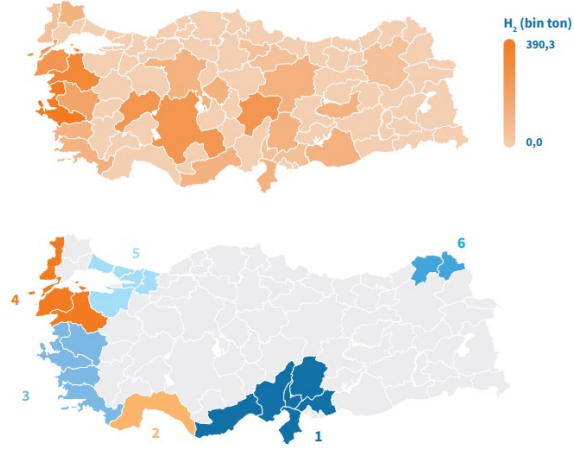
- Kurulum Tarihi: 2020
- Endüstri: Demir & çelik
- Elektrolizör kapasitesi : 500 MW (planlanıyor.)
- 5.000 ton çelik üretildi.
- Müşteriler arasında Volvo var.



REFHYNE II

- Kurulum Tarihi: 2027
- Endüstri: Rafineri
- Elektrolizör kapasitesi : 100 MW
- Rafineri kendi iç ihtiyacı için kullanmayı planlıyor.

Türkiye Yenilenebilir Hidrojen Stratejileri ve Yapılan Çalışmalar



Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası dökümanı için tıklayınız



1 Önemli Gelişmeler

2022 yılında Ulusal Enerji Planı ve 2053 Net Sıfır çerçevesinde hidrojen kritik araç olarak tanımlandı.

- 2035 yılı için enerji payı %3.5 olarak belirlenmiştir.
- Aynı zamanda sentetik yenilenebilir doğal gaz üretiminin de 2035 yılı sonrasında devreye alınabileceği belirlenmiştir.

2023 yılında Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı «Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası» nı yayınladı.

- 2030'da 2 GW, 2035'te 5 GW, 2053'te 70 GW elektrolizör kurulu gücü
- 2035'de 2.4 \$/kg – 2053'te 1.2 \$/kg seviyelendirilmiş hidrojen maliyeti (LCOH)* hedefi

2024 yılında Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı «Türkiye Sektörel Düşük Karbonlu Yol Haritaları» çalışmasını gerçekleştirdi ve kamuoyu ile paylaştı. Düşük Karbonlu Yol Haritası Senaryolarında

- Çelik sektöründe 2035 yılında, Alüminyum sektöründe 2047 yılında, çimento sektöründe 2040 yılında, gübre sektöründe ise 2035 yılında yenilenebilir hidrojen ve türevlerine geçiş senaryolarında yerini almıştır.

2024 yılında EBRD, IBRD, IFC ve Sanayi Bakanlığı işbirliğinde Türkiye Endüstriyel Dekarbonizasyon Yatırım Programı başlatıldı. Yenilenebilir hidrojenin ana temalardan biri olduğu programda 5 Milyar \$'lık özel sektör yatırımının mobilize edilmesi amaçlanmaktadır.

2025 yılında Dünya Bankası desteği ile Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı ve Türkiye Enerji Nükleer, Maden Araştırmaları Kurumu (TENMAK) yürütücülüğünde Temiz Hidrojen Aksiyon Planı çalışmalarına başladı. Yıl sonunda planın açıklanması bekleniyor.

2 Analiz Çalışmaları & Projeler

Shura Türkiye'nin Yeşil Hidrojen Üretim ve İhracat Potansiyelinin Teknik ve Ekonomik Açısından Değerlendirilmesi | 2021

- 2050 yılında 1.5 \$/kg üretim maliyeti ile 1.5 – 1.9 Mt/yıl yeşil hidrojen ve 1.35-1.7 Mt/yıl yeşil amonyak ihracatı potansiyeli vardır.
- Yeşil Hidrojen ekonomisinin tesis edilebilmesi için yıllık yaklaşık 3 Milyar \$ yatırım yapılması gerekmektedir.

IICEC Türkiye Yeşil Hidrojen Geleceği | 2023

- Türkiye, 2030'da 2 GW, 2035'te 5 GW ve 2053'te 70 GW elektrolizör kapasitesiyle; 2035'te 0,6 Mt, 2050'de 5,5 Mt yeşil hidrojen üretimi hedefiyle AB'ye yakın bölgesel bir tedarikçi olarak konumlanıyor.
- Senaryoda fosil yakıt tüketiminde 81 Mtep azalma; enerji ithalat faturasında yılda ortalama 0,8 milyar \$ (2050'de 3,1 milyar \$) düşüş; 287,2 Mt CO₂-eş emisyon azaltımı ve karbon maliyetleriyle birlikte iç piyasada yılda 2,2 milyar \$, AB'ye ihracatla ek 1,3 milyar \$ ekonomik fayda potansiyeli öngörülmüş.

Projeler

- **HYSouthMarmara Hydrogen Valley** | Güney Marmara'da 36,8 M€ bütçeli, 500 t/yıl yeşil hidrojen üretimi ve kullanım ekosistemi.
- **South Marmara Hydrogen Coast Platform** | Bandırma Enerji Üssü'nde pilot yeşil hidrojen tesisi; yeşil metanol ve yeşil amonyak için fizibilite ve Ar-Ge çalışmaları.
- **Boosting Green and Low-Carbon Hydrogen in Türkiye** | BOTAŞ – doğal gaz şebekesinde hidrojen karışımı ve depolama fizibilitesi, ulusal hidrojen master şebeke planı ve kapasite geliştirme.



Bu yayın Avrupa Birliği finansal desteği ile üretilmiştir. Yayının içeriği sadece MESS Teknoloji Merkezi'nin sorumluluğundadır ve Avrupa Birliği'nin görüşlerini yansıtmak zorunda değildir.