

Türkiye'nin Enerji Dönüşümünde Hidrojen Stratejisi Ne Olmalı?

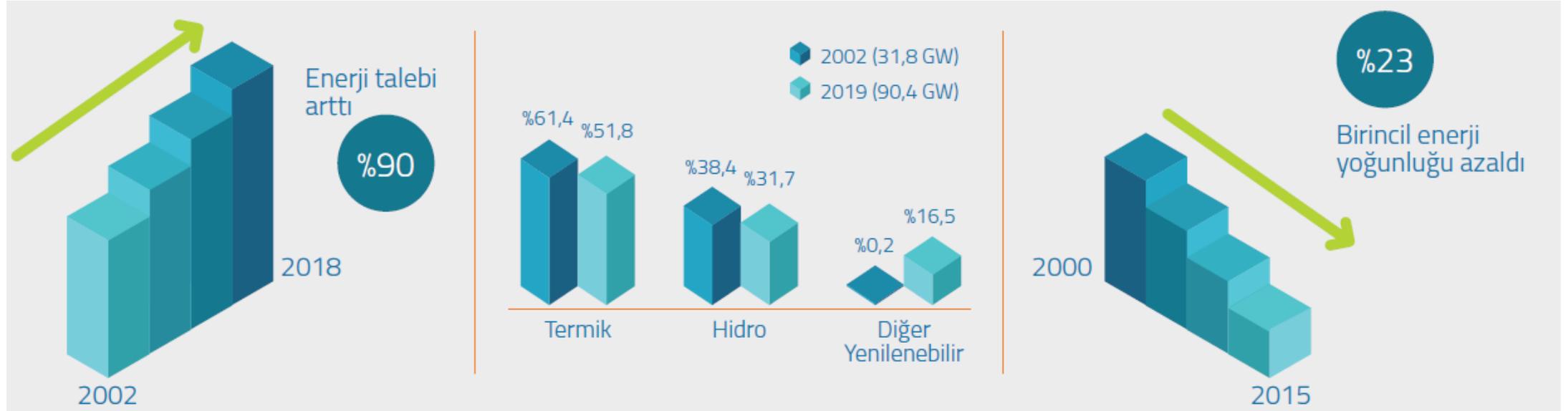
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

15 Ocak 2020

SHURA'nın hedefleri

- Türkiye'de enerji sektörünün tüm paydaşları için
 - ortak bir değerlendirme platformu olarak,
 - teknoloji, ekonomi ve enerji politikaları ile ilgili
 - veri bazlı, tarafsız, bağımsız teknik araştırma ve analizlerle
 - Türkiye'nin enerji dönüşümü ile ilgili tartışmalara katkıda bulunmayı
- hedeflemektedir

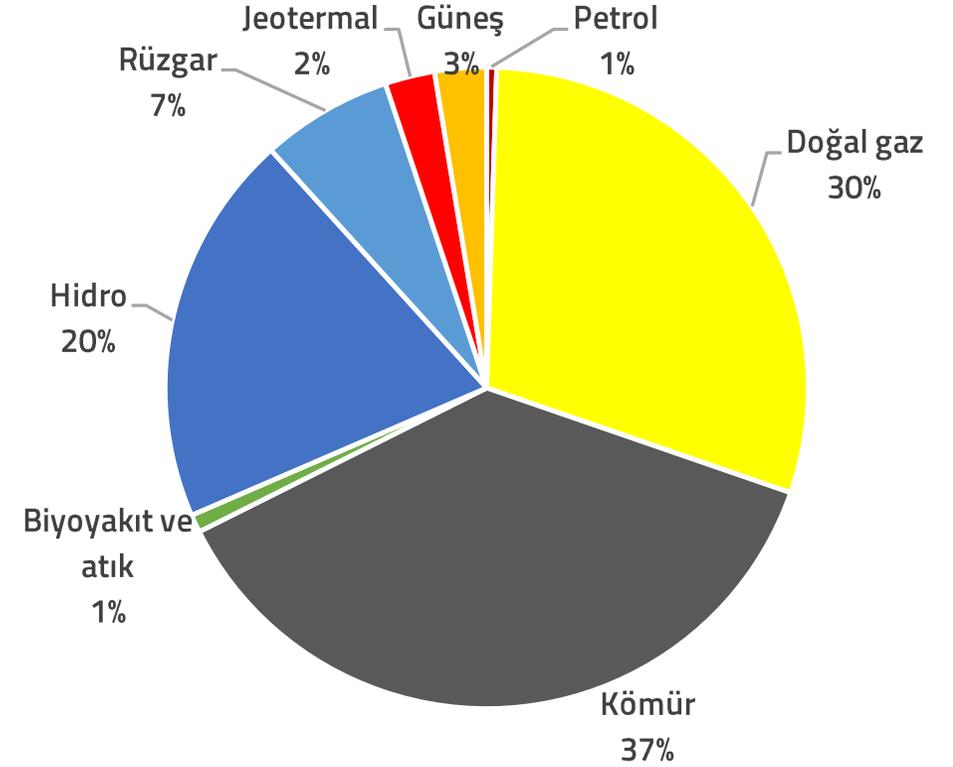
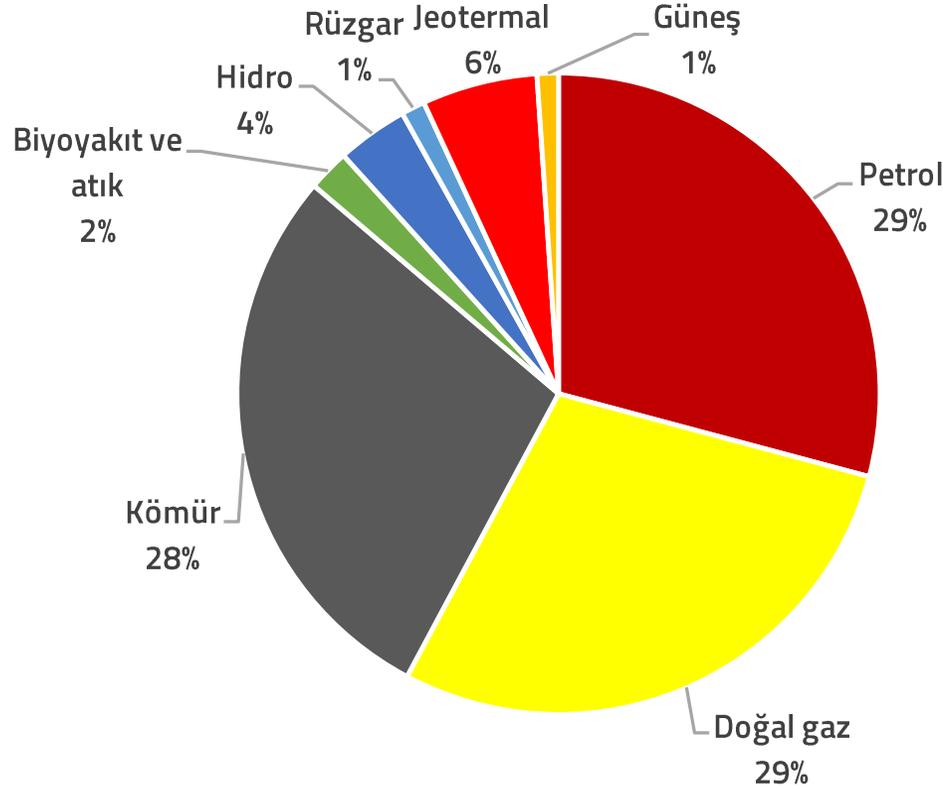
Türkiye enerji dönüşümündeki mevcut durum



Enerji verimliliği teknolojileri de sayesinde, birincil enerji arz yoğunluğu yılda ortalama %1'den daha hızlı azalıyor

Yenilenebilir enerjinin toplam elektrik tüketimindeki payı üçte bir seviyesine ulaştı

Yenilenebilir enerjinin Türkiye'nin enerji sistemindeki payı



Yenilenebilir enerjinin birincil enerji kaynakları içerisindeki payı %14 iken, toplam elektrik üretiminin üçte birini temsil ediyor

Türkiye'nin dönüşümü zor olan sektörleri

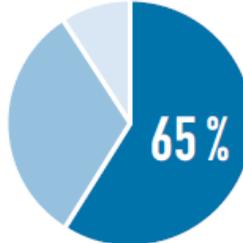
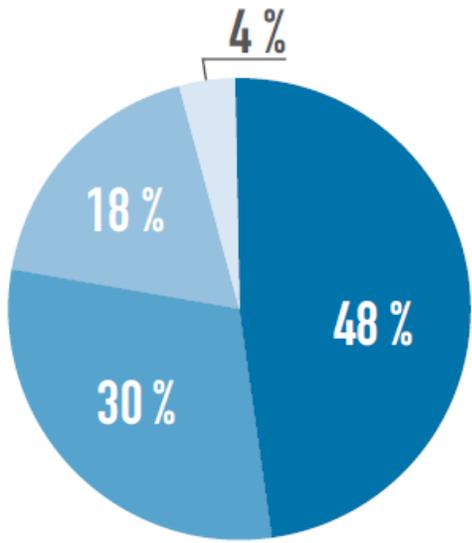
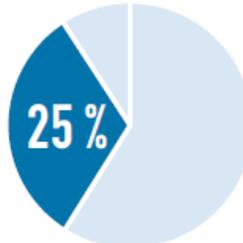
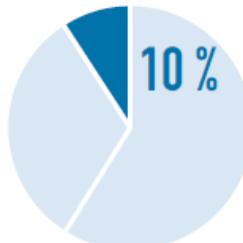
	Toplam enerji tüketimi [Mtep/yıl]	Toplam CO2 emisyonu [Mt CO ₂ /yıl]
Karayolları yük taşımacılığı	7.3	23.6
Havacılık	1.2	4.0
Denizcilik	0.4	1.3
Demir çelik	5.2	19.1
Kimya ve petrokimya	1.7	4.3
Gübre (amonyak)	0.7	1.7
Plastik	2.0	6.3
Çimento	6	21.3
Doğalgaz sektörü	41.2	96.5
Elektrik	15.0	35.2
Isıtma	25	59.1
Boru hatları	0.3	0.7
Toplam	~66	~178

Dönüşümü zor olan sektörler Türkiye toplam nihai enerji tüketiminin neredeyse yarısını temsil ediyor

Dönüşüm için gereken teknolojiler

- **Elektrik sektörü** için enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji (ve hidrojen ile entegrasyonu)
- **Son tüketicilerin** enerji verimliliğinin artırılmasıyla birlikte mümkün olduğunca elektrifikasyon ve yenilenebilir enerji
- **Dönüşümü zor olan sektörler için yeni çözümlerin geliştirilmesi**
 - Karayolunda yük taşımacılığı (elektrik, biyogaz, gelişmiş biyoyakıtlar, hidrojen)
 - Havacılık (gelişmiş biyoyakıtlar, yer operasyonları için elektrik, yan hizmetler için hidrojen)
 - Denizcilik (hidrojen, amonyak, elektrik, biyogaz)
 - Demir ve çelik (hidrojen, yenilenebilir elektrik, biyoyakıt, tesislerin yeniden konumlandırılması, CCS/CCU)
 - Çimento (CCS/CCU, yeni çimento çeşitleri, hammadde ve yardımcı maddelerin ikame edilmesi, alternatif hammaddeler, yenilenebilir enerji)
 - Kimya ve petrokimya (hidrojen, elektrik, biyokimyasallar, döngüsel ekonomi)
- **Karbonsuz bir enerji sektörüne dönüşüm için çok kısıtlı zaman kaldı**

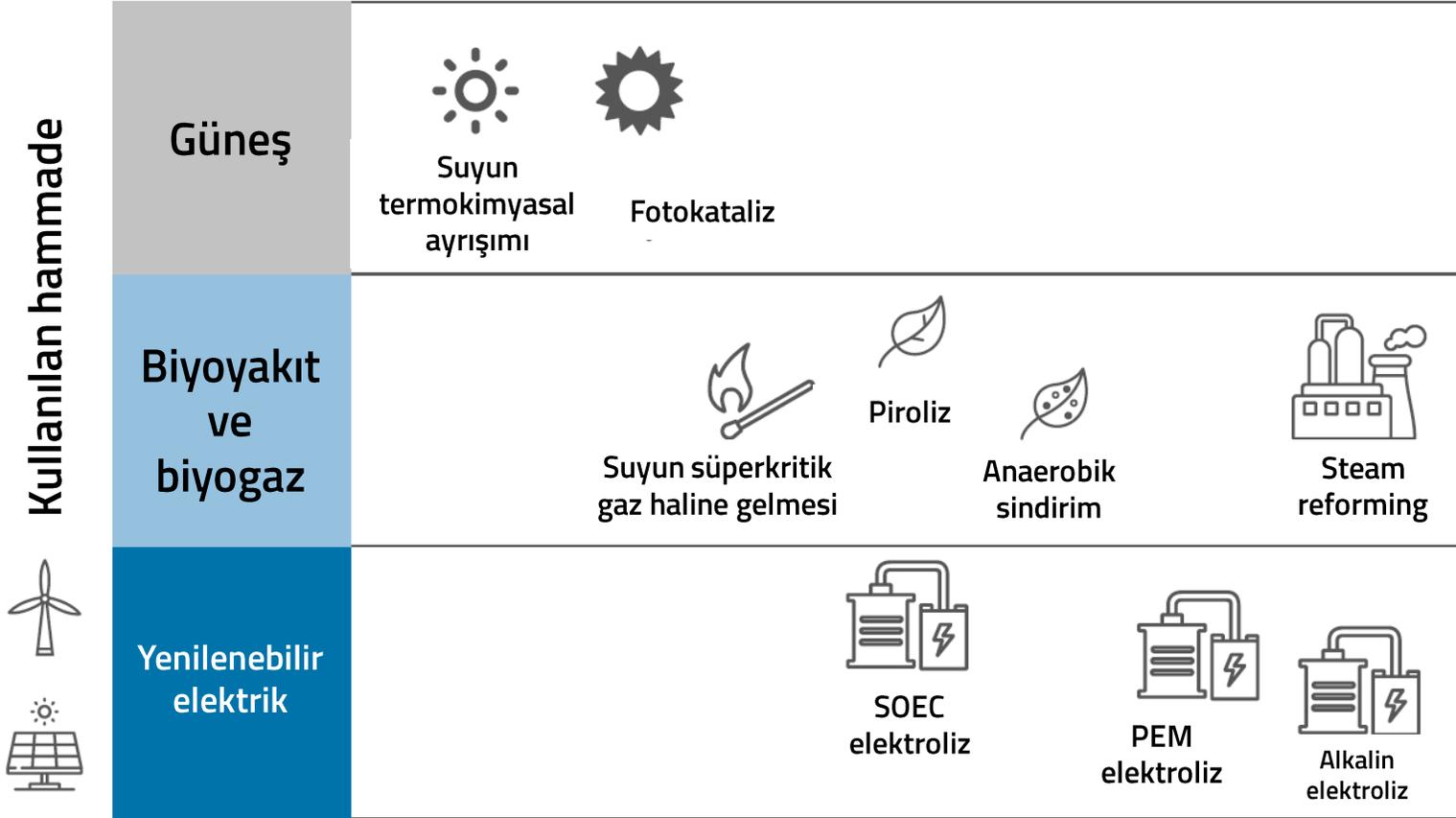
Farklı sektörlerde uygulanan hidrojenin rolü

Sektör	Uygulama alanları	Küresel talepteki payı	Hidrojen kaynakları
Kimya	<ul style="list-style-type: none"> Amonyak Polimer Resin 	 <p>65%</p>	 <p>48 % 30 % 18 % 4 %</p> <ul style="list-style-type: none"> Doğalgaz Petrol Kömür Elektroliz
Rafineri	<ul style="list-style-type: none"> Hydrocracking Hydrotreating 	 <p>25%</p>	
Demir & çelik	<ul style="list-style-type: none"> Tavlama Farklı gazların üretimi 	 <p>10%</p>	
Diğer sanayi	<ul style="list-style-type: none"> Semiconductor Yakıt Cam üretimi Jeneratör soğutma 		

Copyright: Hiniçio 2016

Hidrojenin neredeyse hepsi fosil yakıtlardan ve kullanımı sanayinin belli sektörlerinde ⁷ Kaynak: IRENA (2019a)

Hidrojen üretimi ve teknolojilerin durumu

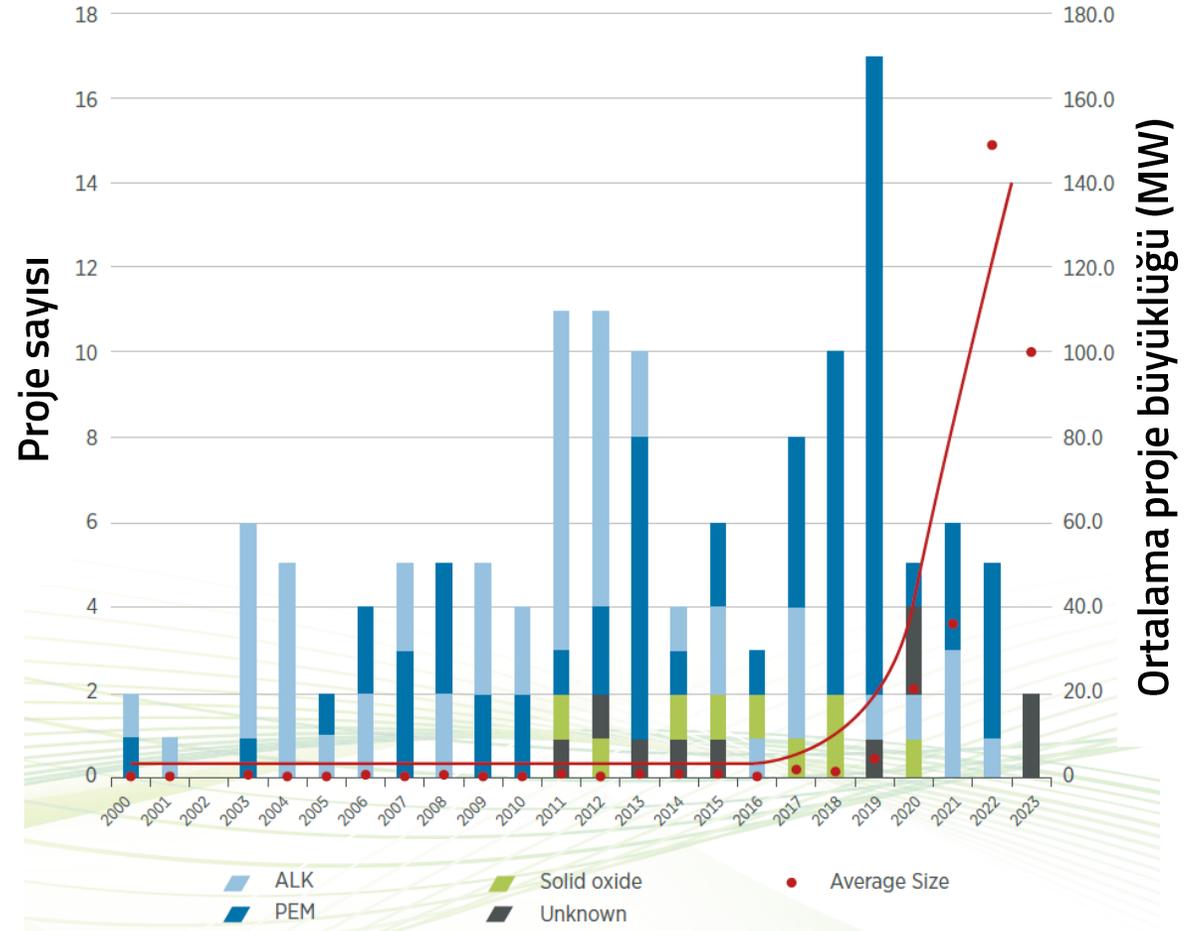


Uygulamalı araştırma / Prototip / Demonstrasyon / Ticari

Ticarileşme potansiyeli en yakın teknolojiler yenilenebilir elektrik kaynaklı

Elektroliz bazlı hidrojen projeleri

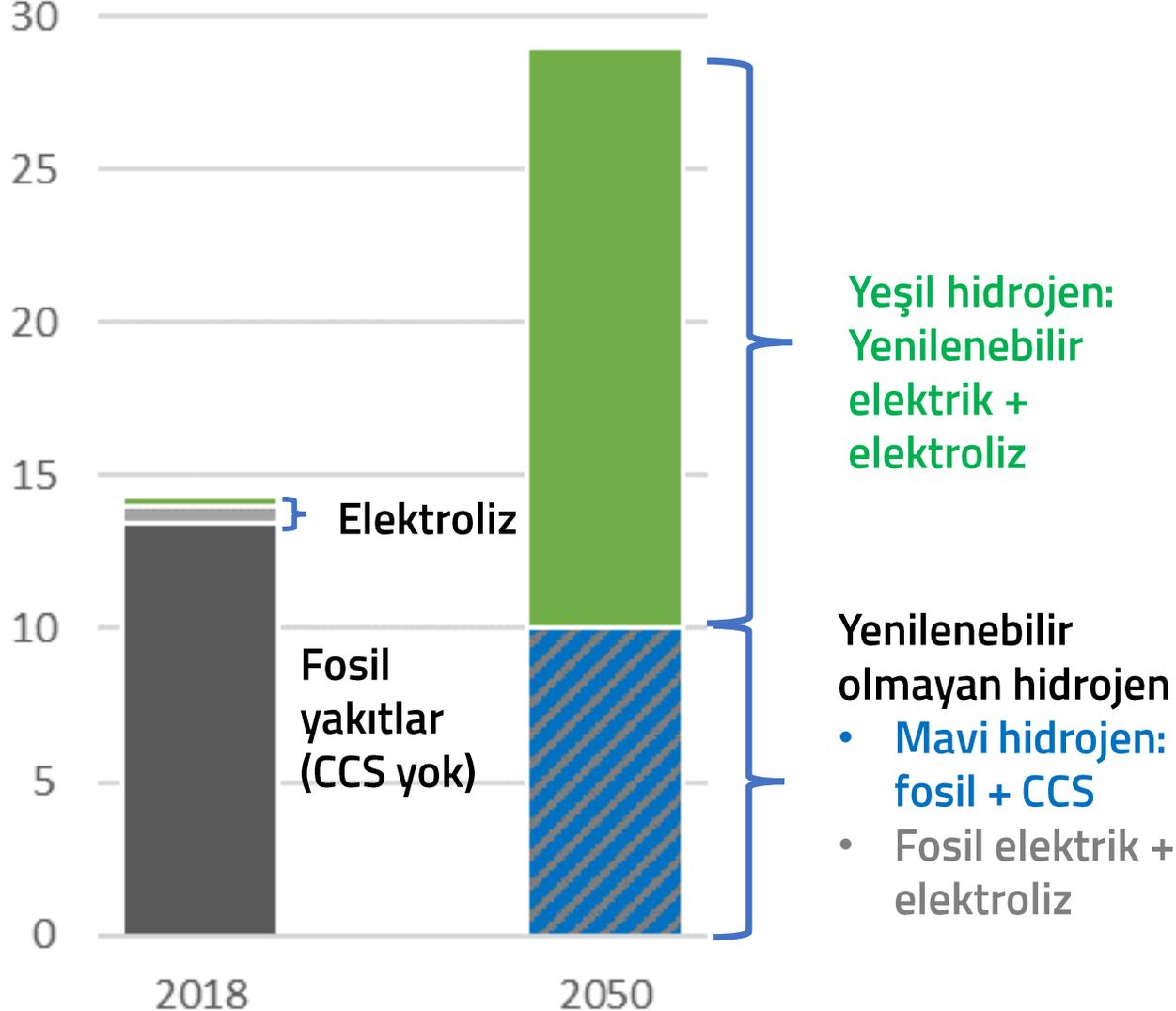
- Temmuz 2019 itibarıyla Almanya 11 farklı projeyi onayladı (çoğunluğu sanayi için)
- Avustralya, güneş ve rüzgar bazlı hidrojen üretimi için çalışıyor (50 MW + 30 MW)
- Fransa doğal gaz sektörüne entegrasyona yoğunlaşıyor
- Kanada dünyanın en büyük PEM elektroliz tesisini inşa ediyor ve doğal gaz ihtiyacını azaltmak için denemeler yapıyor (hidro bazlı)
- Japonya ulaştırma sektörü için yakıt pili teknolojilerine yoğunlaşıyor



Proje büyüklükleri son yıllarda MW seviyesine doğru artıyor

Yeşil hidrojene geçiş için potansiyel

EJ/yıl



Günümüzde:

14 EJ yakın hidrojen fosil yakıtlardan üretilmekte – mavi ve yeşil hidrojen üretimi yok denecek kadar az

2050:

Toplam hidrojen talebinin üçte ikisi yenilenebilir kaynaklardan üretilebilir

Elektroliz pilot projeleri hızla artmakta –daha büyük sistemler (> 50 MW)

US\$2-3/kg yeşil hidrojen 2030'da mümkün

- Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi
- Elektroliz ilk yatırım maliyetlerinde düşüş

Mevcut teknolojilerle hidrojen üretiminin maliyeti

Ana varsayımlar:

Alkalin elektroliz

- CAPEX: US\$840/kW
- Yıllık üretim: 5.700 saat

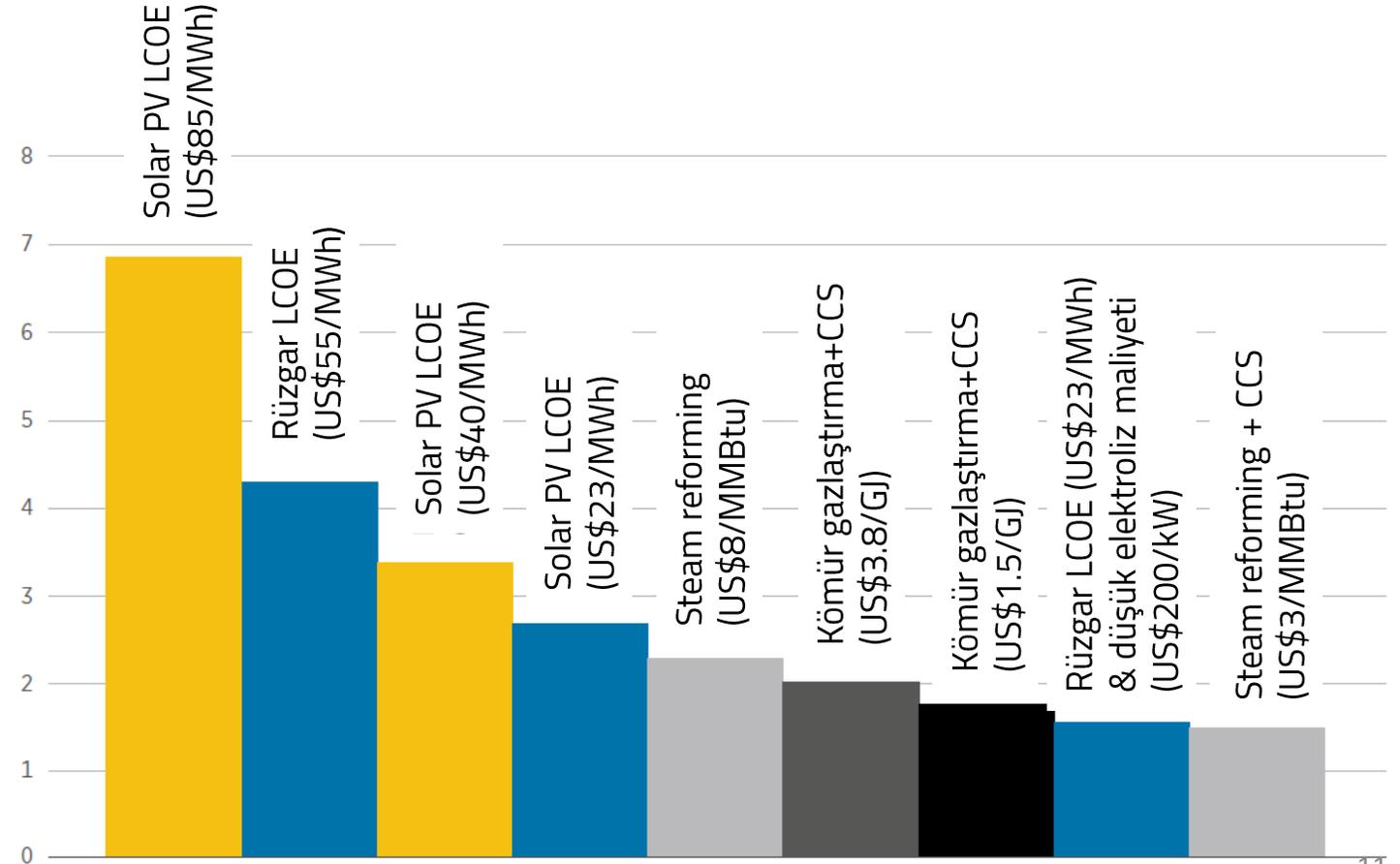
Yenilenebilir enerji kurulu güç kapasite faktörleri

- Solar PV: %18-%26
- Rüzgar: %34-%48

Düşük maliyetli rüzgar örnekleri Brezilya ve Suudi Arabistan

Düşük elektroliz maliyeti ancak 2040'da fakat Çin bunun günümüzün şimdiden gerçeği olduğunu belirtiyor

Seviyelendirilmiş üretim maliyeti (US\$/kg H2)



Rekabetçi hidrojen üretimi (US\$2-3/kg) için düşük maliyetli yenilenebilir elektrik ve elektroliz yatırımı

Ana varsayımlar:

Alkalin elektroliz

- CAPEX: US\$200 (2040 yılında)-1000/kW
- Yıllık üretim: 8.600 saat

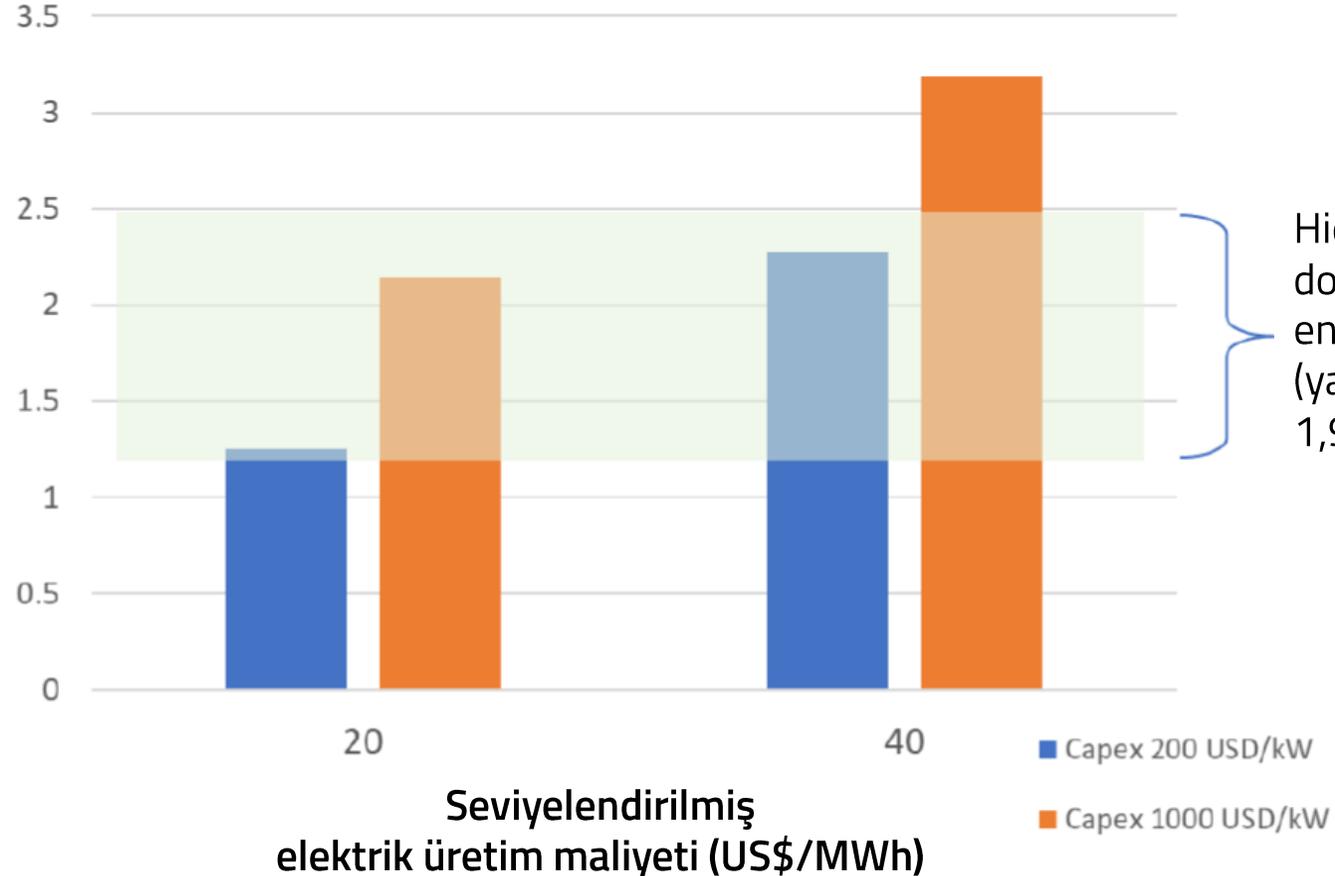
Kömürün gazlaştırılması

- CCS maliyeti (@US\$50/t CO₂): maliyetlere US\$0,75/kg H₂ ilave oluyor

Doğal gaz ile üretim

- CCS maliyeti (@US\$50/t CO₂): maliyetlere US\$0,45/kg H₂ ilave oluyor

Seviyelendirilmiş üretim maliyeti (US\$/kg H₂)

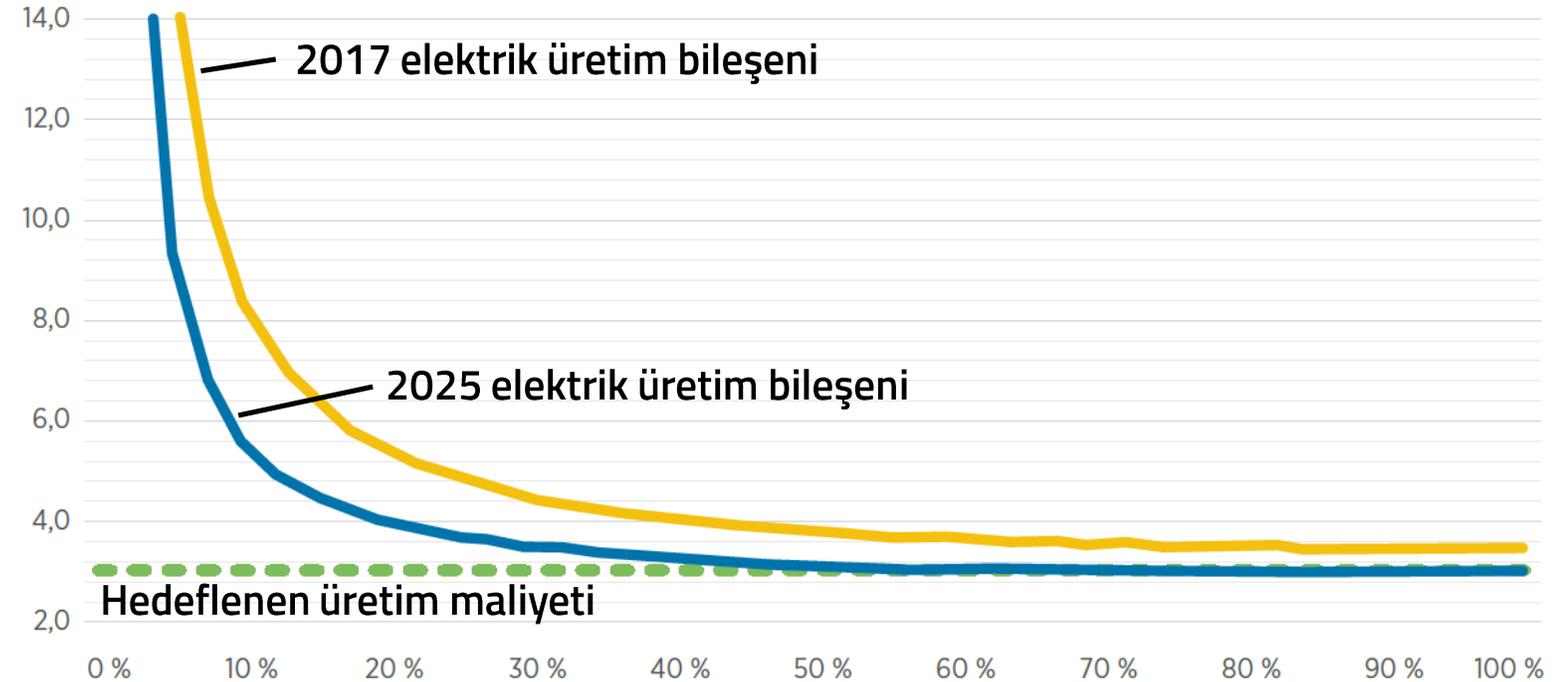


Hidrojenin kömür ve doğalgazdan CCS ile entegre üretimi (yakıt maliyeti: 1,9-5,7 US\$/GJ)

Elektroliz yoluyla hidrojen üretimi

Danimarka'da alkalin elektroliz yöntemiyle üretim

Seviyelendirilmiş üretim maliyeti (US\$/kg H₂)

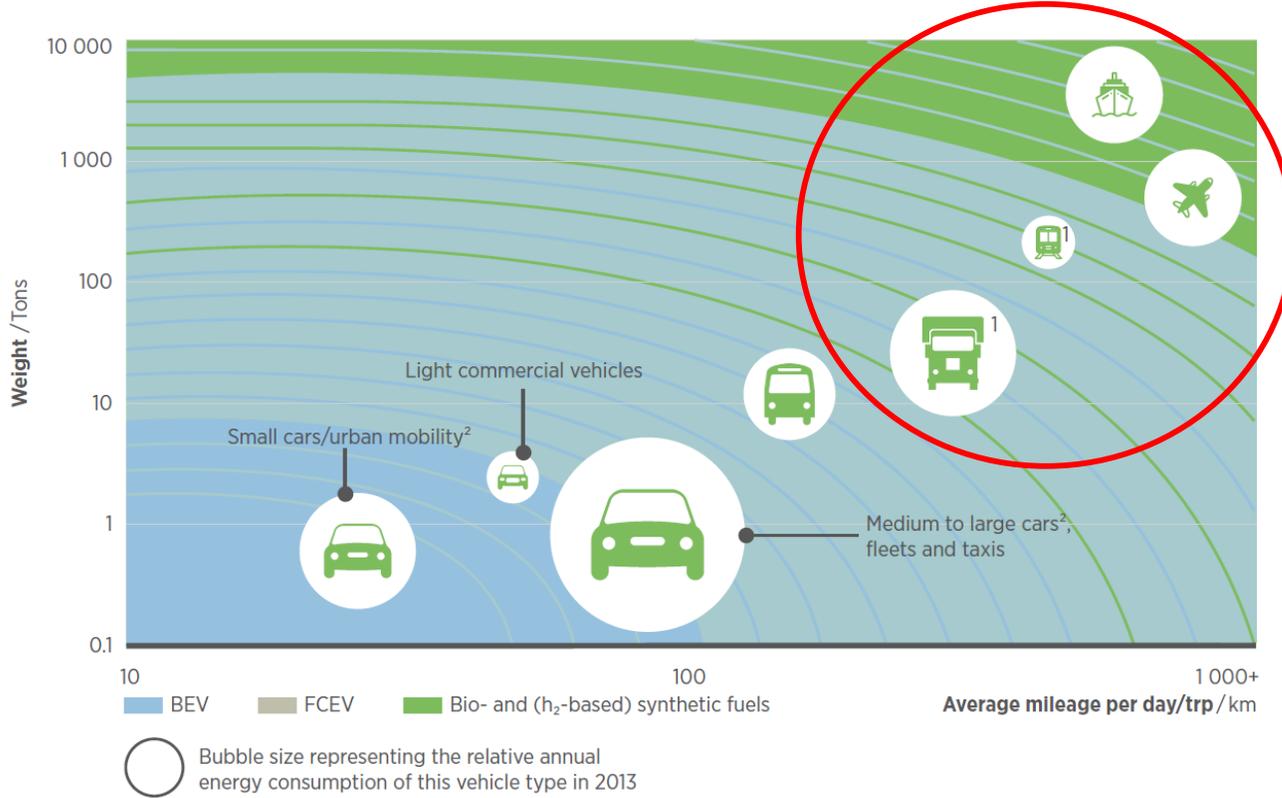


Düşük kapasite faktöründe üretim daha yüksek maliyetli oluyor

Daha yüksek kapasite faktörlerinde üretimin maliyetini elektrik fiyatları belirliyor

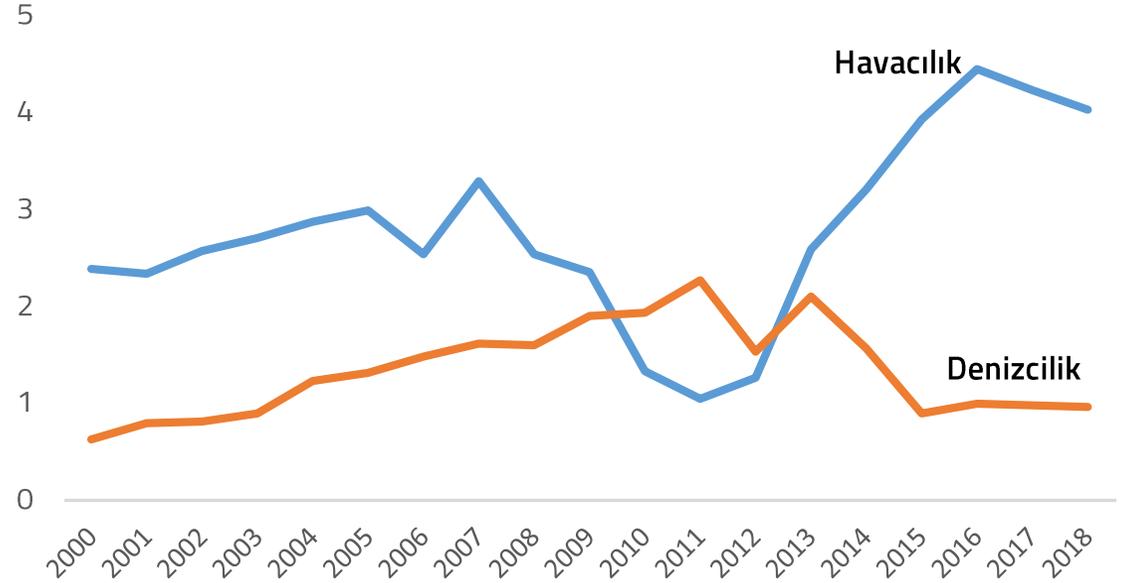
PEM teknolojisiyle üretim, alkalin elektrolize kıyasla US\$2-5/kg H₂ daha yüksek maliyetli

Ulaştırma sektöründe hidrojenin rolü



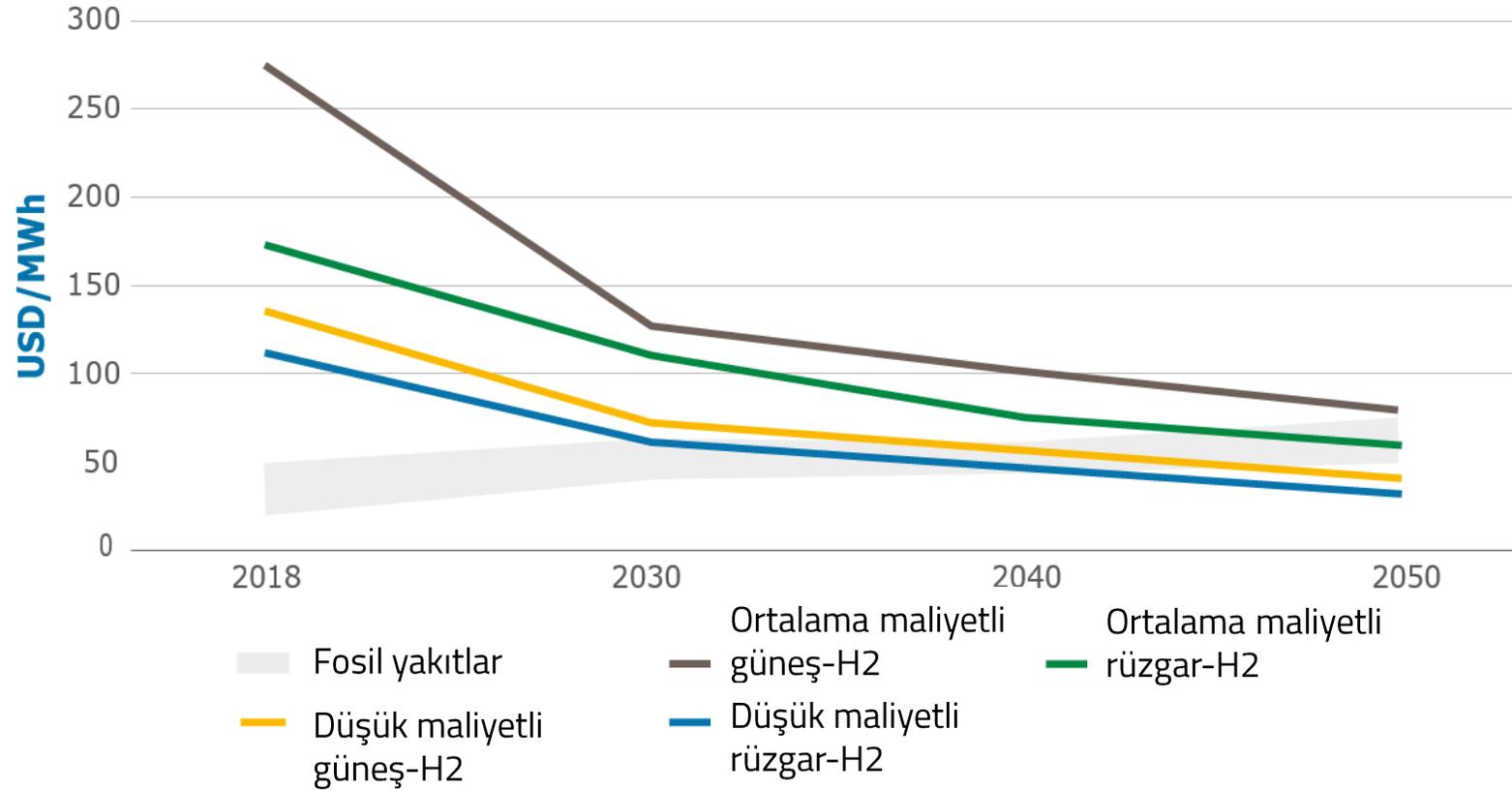
Türkiye

CO₂ salımları (Mt/yıl)



Karayolu dışındaki ulaştırma yollarından kaynaklanan CO₂ ve hava kirletici salımları hızla artmakta
Yakın gelecekte karayolu yük taşımacılığı için yakıt pili alternatifi (5-15 yıl arasında ticari potansiyel)

Hidrojen denizcilik sektörünün dönüşümü için anahtar bir role sahip olabilir



Gemiler için gereken enerji ihtiyacı *heavy fuel oil* ve *dizel* yakıtlardan sağlanmakta

Küresel deniz ticareti yılda ortalama %3,8 seviyesinde artmakta

Fosil yakıtlara kıyasla hidrojen CO₂, SO ve NO_x salımlarının azaltılmasına yardımcı olacaktır

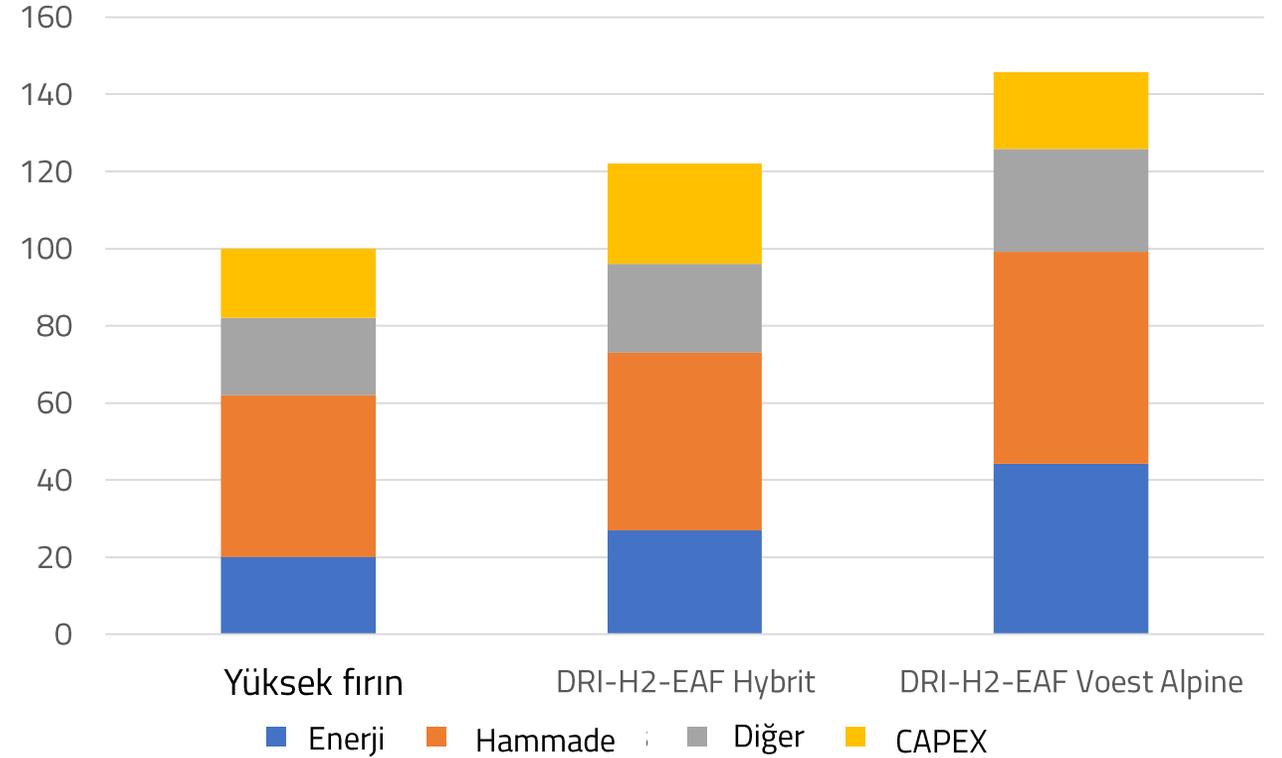
Demir çelik sektöründe önemli bir potansiyele sahip olabilir

- Demir çelik sektöründe en fazla enerji kok ve kömür bazlı demir üretiminde
- Yenilenebilir elektrikten üretilen enerjiyle hidrojen üretimi önemli alternatif sunuyor
- Hidrojen bazlı *Direct Reduced Iron* üretimi alternatif



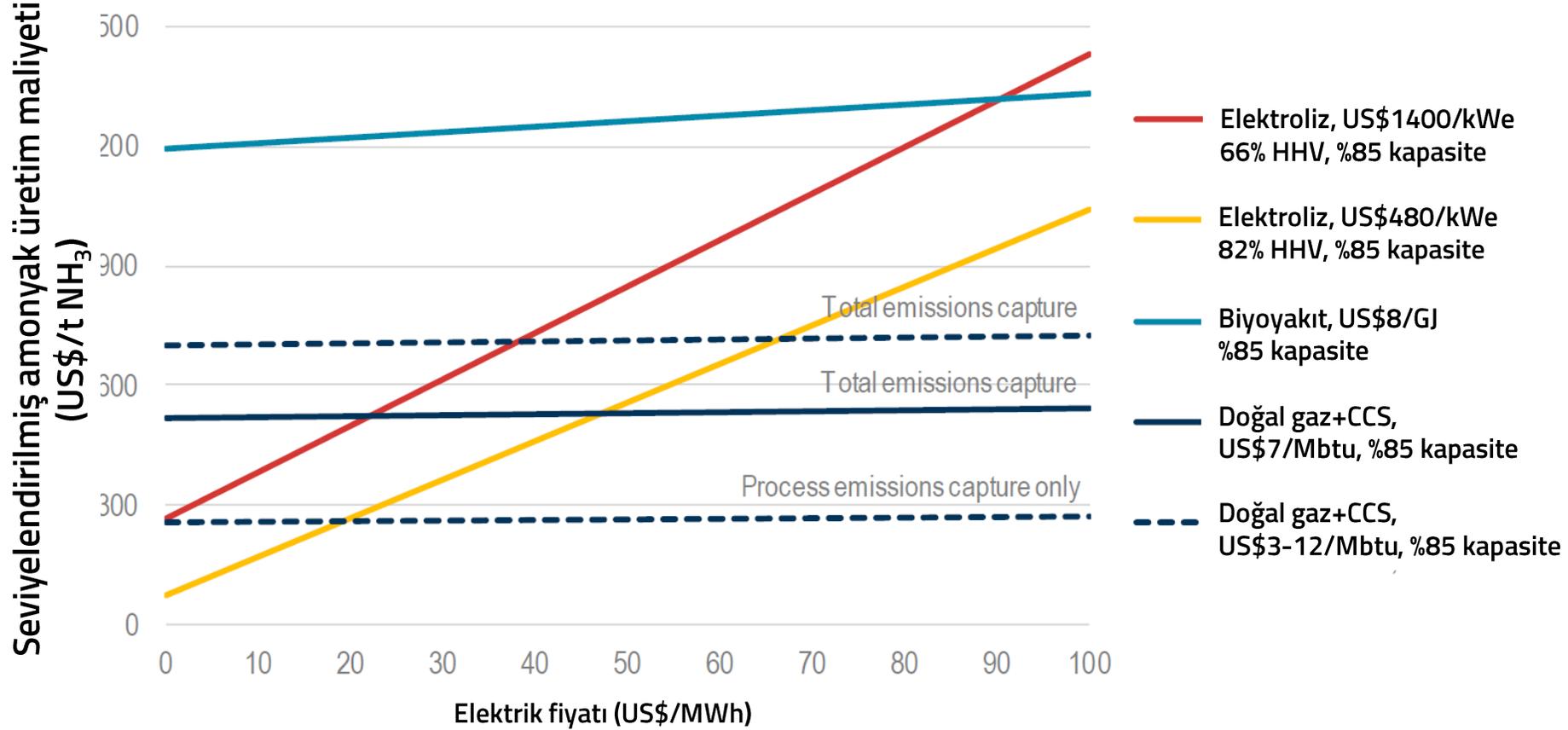
Photo copyright: Steel-360

Üretim maliyet endeksi [-]



Mevcut üretim maliyetleri yüksek fırına kıyasla %20-%40 arasında daha fazla

Gübre sektöründe hidrojenin rolü



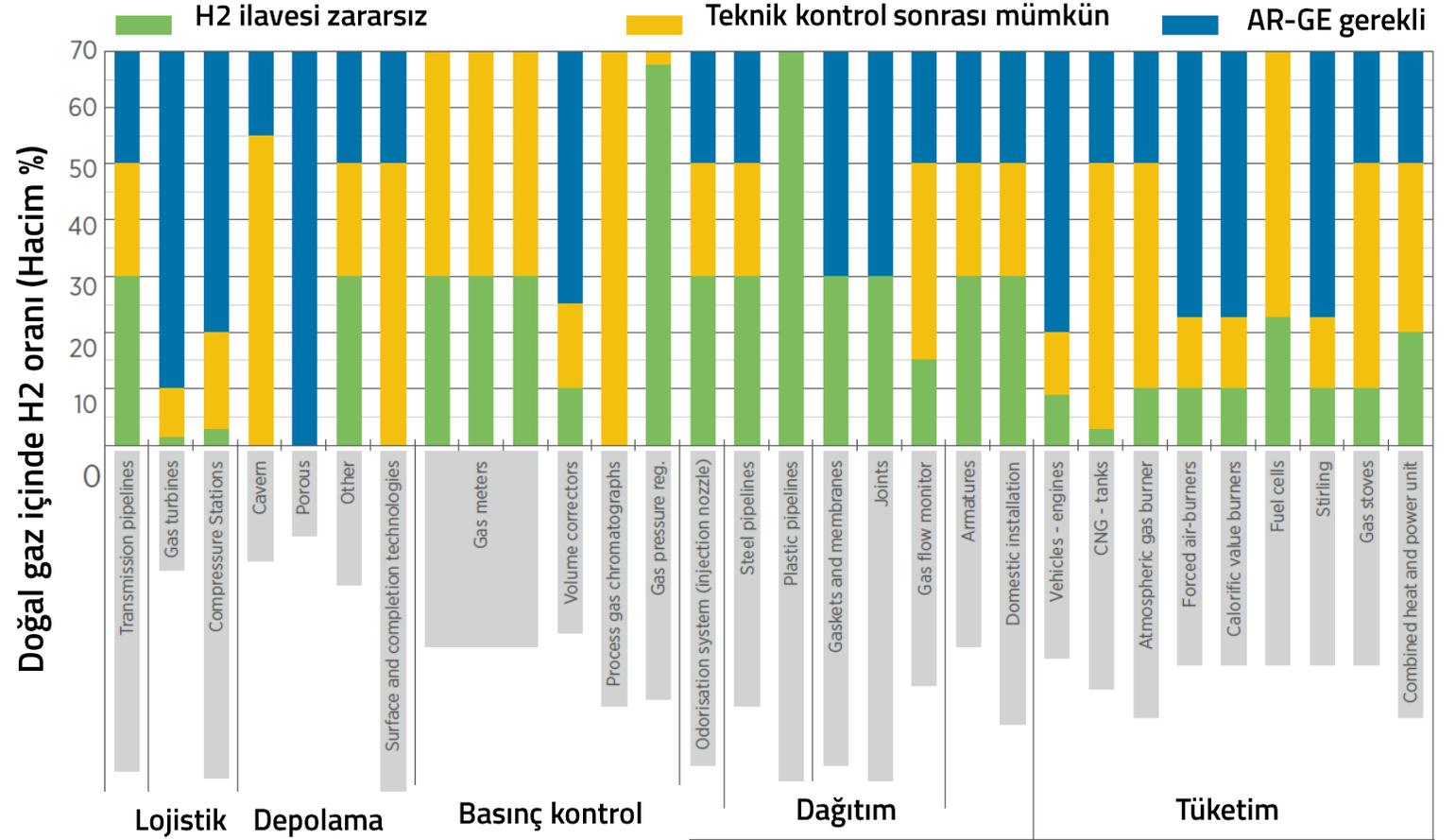
US\$7/Mbtu doğal gaz fiyatının olduğu bir piyasada, US\$20-45/MWh elektrik fiyatlarıyla elektroliz bazı üretim maliyetleri doğal gaz + CCS'e kıyasla rekabetçi

Doğal gaz sektörü dönüşümü için çözüm

Hollanda örneği boru hatlarının kısıtlı bir ilave maliyetle hidrojene geçilebileceğini gösteriyor

Almanya örneğinde *L-gas*'den, *H-gas*'e geçiş yüksek maliyetli

Doğal gaz tüketen ekipmana etkiler?
Tüm sistemin veya kısmen %100 H2'ye geçiş?
Tüm sistemin kısıtlı H2'e geçişi?
Hidrojen tedariki nasıl sabit tutulabilir (değişken elektrik gibi mi?)
Standartlara ihtiyaç

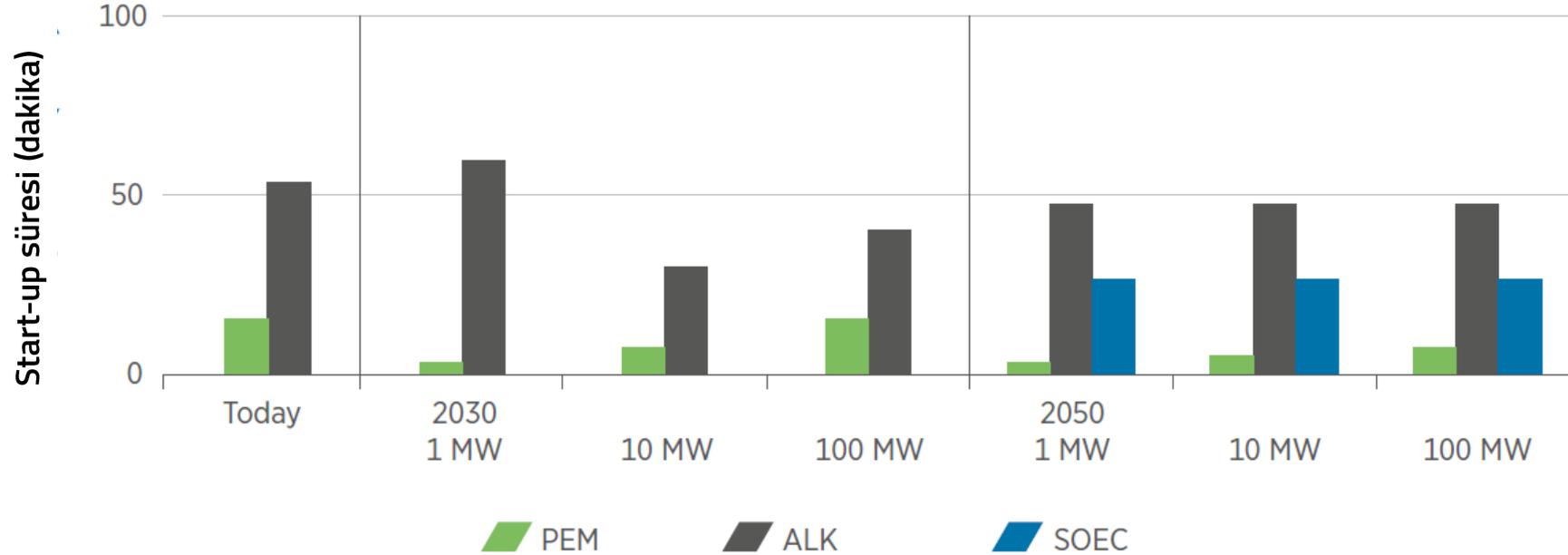


Hidrojen altyapısı gelişimi ve ölçek ekonomisi için hidrojen kullanımı kısa vadede yardımcı olabilir %10-%20 karışım az bir ilave maliyetle mümkün fakat, %20'den fazlası için önlemler gerekiyor

Uzun vadede hidrojen depolama ile birlikte doğal gaz sektörünün karbonsuzlaşması ¹⁸ Kaynak: IRENA (2019b)

Hidrojen yoluyla elektrik sistemine esneklik kazandırılması

Elektrolizin mevcut ve beklenen esnekliği



Elektroliz elektrik sisteminin talep tarafına esneklik kazandırıyor

Yeni elektroliz sistemleri üretimlerini çok hızlı bir şekilde değiştirebiliyor fakat sadece curtailment önlemek için elektroliz kullanımı düşük kapasite faktörleri sebebiyle yüksek maliyetli¹⁹ Kaynak: IRENA (2019b)

Hidrojenin mevsimsel depolanması



Hidrojen farklı şekillerde depolanabilir: saf hidrojenin sıkıştırılması, jeolojik veya insan eliyle yapılmış diğer yapıların içine sıkıştırılması, doğal gaz altyapısına entegre edilmesi, sentetik yakıt üretimi

Elektrik sistemi esnekliği için alternatif olan mevsimsel depolama öncesinde başka yöntemler mevcut

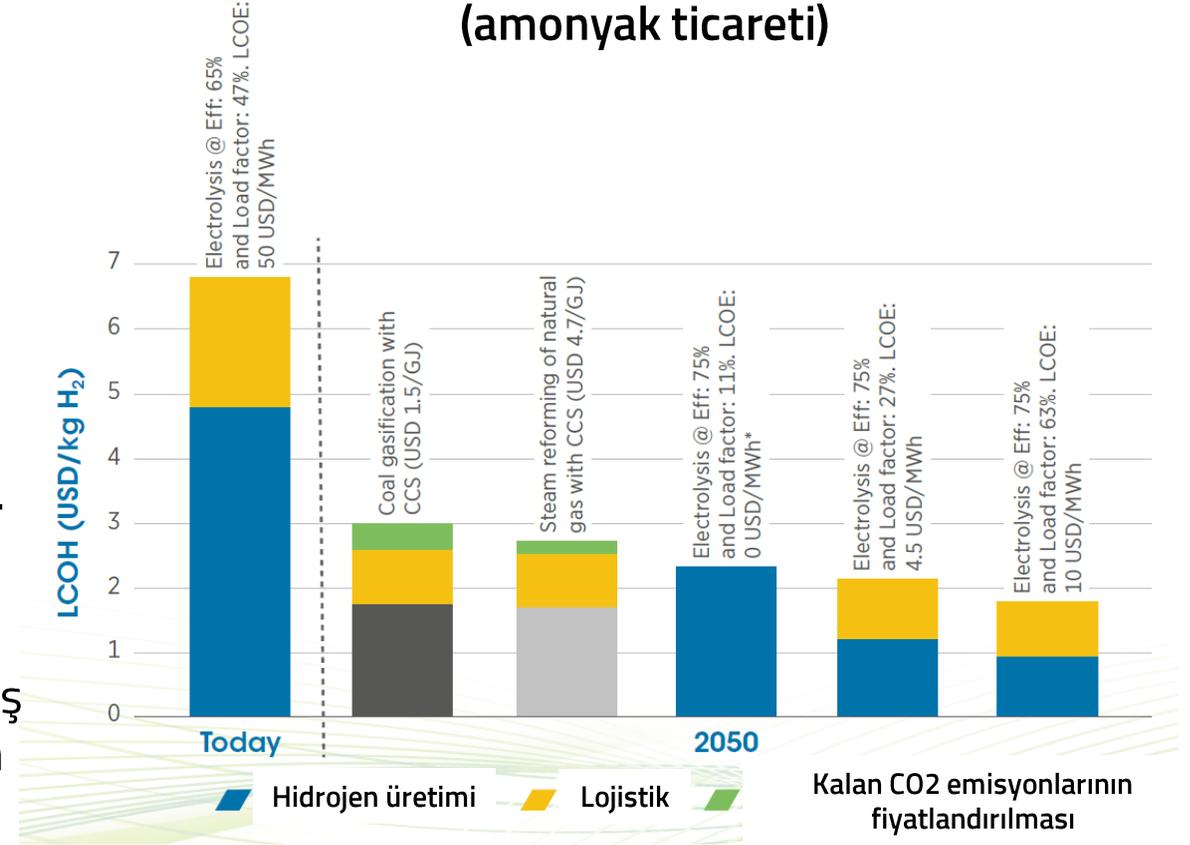
Hidrojenin lojistiği

- Elektrik üretimi ile entegre ve şebeke yatırımları?
- Hidrojen üretimi ve boru hatlarıyla tedariki?
- Uluslararası piyasalarda ticareti? (mevcut sisteme entegre edilebilecek sıkıştırılmış, sıvı hidrojen veya farklı hidrojen ürünleri şeklinde, örn. amonyak)

Tedarik zinciri:

- Ölçek ekonomisinde üretim tesisleri doğrudan büyük tüketicileri besleyebilir. Bu uzun vadeli bir hidrojen ekonomisine geçiş için yardımcı olabilir
- Kamyon vb araçlarla üretim son tüketiciye sağlanabilir. Bunun için doldurma ve diğer ara işlem altyapı yatırımlarına ihtiyaç var
- Küresel hidrojen ticaretinin olduğu bir ekonomiye geçiş (ucuz yenilenebilir elektriğin olduğu merkezlerden, son tüketicilere)

Avustralya → Japonya (amonyak ticareti)



Hidrojen lojistiği ile ilgili maliyetler toplam tedarik maliyetlerinin %30-%40 gibi bir paya sahip olabilir

Bir sonraki adımlar

- Fosil yakıt bazlı ve mavi hidrojen günümüzde fiyat rekabetçiliğine erişmişken, **ucuz yenilenebilir elektrik ile entegre ve düşük maliyetli elektroliz teknolojileriyle yeşil hidrojen yakın gelecek için önemli bir alternatif olma yolunda ilerliyor**
- Düşük maliyetli üretim için **yenilenebilir elektrik santrallerine yakın ve yüksek kapasite faktörleriyle üretim**, üretim ve lojistik maliyetlerinde azalmaya çözüm sunuyor
- **Karbon piyasasının gelişmesi** maliyet rekabetçiliğinin gelişmesi için önemli
- **Gübre sanayinde kullanım ve doğal gaz sektörünün belli alanlarına entegrasyon** ilk piyasanın yaratılması için önemli bir fırsat sunuyor
- Küresel üretim ve ticaret arttıkça, **kaynak çeşitliliğinde artış olması bekleniyor**
- **Uzun vadede demir çelik ve ulaştırma sektörünün bazı alanlarında da önemli fırsatlar yakalanabilir**

Teşekkürler!

Değer Saygın (deger.saygin@shura.org.tr)



Türkiye'de enerji dönüşümü ve özel sektörün rolü: Dönüşümün enerjisi özel sektör atıyor!



Türkiye'nin Elektrik Sektöründe Yenilenebilir Kaynakların Artan Payı İktisadi Sebeplesiz Yatırım ve Esneklik Seçenekleri



"TÜRKİYE'DE DÜŞÜK KARBONLU EKONOMİYE GEÇİŞ İÇİN GEREKEN FİNANSMANIN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİNİN SAĞLANMASI" PANELİ ÖZET RAPORU
12 Eylül 2018, İstanbul



Türkiye'de kullanılan elektrğin %50'den fazlası yenilenebilir kaynaklardan sağlanabilir: Rüzgâr ve güneş enerjisi yatırımlarının sistem odaklı yerleştirilmesi



Rüzgâr ve güneş Türkiye'de enerji dönüşümünü nasıl hızlandırabilir: Küresel örnekler
YÖNETİCİ ÖZETİ



Türkiye'de kullanılan elektrğin %50'den fazlası yenilenebilir kaynaklardan sağlanabilir: Enerji dönüşümünü destekleyen düzenleyici çerçevenin güçlendirilmesi için YEKA bütçelerini daha etkin kılan fırsatlar



Türkiye'de kullanılan elektrğin %50'den fazlası yenilenebilir kaynaklardan sağlanıyor: Sistem esnekliğinin artırılması için gereken seçeneklerin fayda ve maliyeti



@shuraedm



@company/shura



Türkiye ulaştırma sektörünün dönüşümü: Elektrikli araçların Türkiye dağıtım sebeplesine etkileri



Türkiye enerji dönüşümünde İnnovasyon ve patent eğilimleri



Enerji ve Ulaştırma Sektörleri Dönüşümünde Batarya Teknolojilerinin Rolü: Eğilimler, Fırsatlar ve Yenilikçi Uygulamalar



Türkiye'de Enerji Dönüşümünün Finansmanı



Türkiye enerji sektöründe fiyatlandırma ve piyasa dışı fon aksiyonları

Alkalin ve PEM elektroliz yoluyla hidrojen üretim teknolojilerinin karşılaştırması

Technology		ALK		PEM	
	Unit	2017	2025	2017	2025
Efficiency	kWh of electricity/ kg of H ₂	51	49	58	52
Efficiency (LHV)	%	65	68	57	64
Lifetime stack	Operating hours	80 000 h	90 000 h	40 000 h	50 000 h
CAPEX – total system cost (incl. power supply and installation costs)	EUR/kW	750	480	1 200	700
OPEX	% of initial CAPEX/year	2%	2%	2%	2%
CAPEX – stack replacement	EUR/kW	340	215	420	210
Typical output pressure*	Bar	Atmospheric	15	30	60
System lifetime	Years	20		20	