



**T.C. ENERJİ VE TABİİ  
KAYNAKLAR BAKANLIĞI**

**TÜRKİYE  
HİDROJEN TEKNOLOJİLERİ  
STRATEJİSİ  
VE  
YOL HARİTASI**

# İÇİNDEKİLER

YÖNETİCİ ÖZETİ .....	1
GİRİŞ.....	2
VİZYON, MİSYON VE STRATEJİK ÖNCELİK.....	3
HİDROJEN TEKNOLOJİLERİ.....	4
KÜRESEL VİZYON VE HEDEFLER.....	6
TÜRKİYE'DE MEVCUT DURUM.....	7
HİDROJEN TEKNOLOJİLERİNDE İHTİYAÇ, ÇÖZÜM VE YOL HARİTALARI .....	9
SONUÇ, HEDEFLER VE POLİTİKALAR .....	18

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1	Kaynaklarına göre hidrojen üretim yöntemleri . .....	4
Şekil 2	Küresel elektrolizör kapasite hedefleri.....	6
Şekil 3	Hidrojen üretim teknolojileri yol haritası .....	14
Şekil 4	Hidrojen depolama teknolojileri yol haritası .....	15
Şekil 5	Hidrojen dağıtım teknolojileri yol haritası.....	16
Şekil 6	Hidrojen kullanım teknolojileri yol haritası.....	17

# YÖNETİCİ ÖZETİ

İklim değişikliği ile mücadelede tüm dünyada gelişen teknoloji ve artan enerji talebi ile hidrojen teknolojileri yatırımlarının önümüzdeki yıllarda daha da artacağı öngörülmektedir. Hidrojen; yüksek kütleli enerji yoğunluğu (120 MJ/kg) ve düşük çevresel etkisi ile fosil yakıt bazlı enerji kaynakları kullanımında enerji taşıyıcısı olarak önemli bir alternatiftir. Hidrojen, ulaşımdan sanayiye, yenilenebilir enerji entegrasyonundan yeşil kimyasal üretimine kadar birçok farklı alanda kullanılmaktadır.

Bakanlığımız, sürdürülebilir enerji geleceğine katkısı nedeniyle hidrojeni öncelikli alanlardan biri olarak ilan etmiştir. Amacımız, ekonomik kalkınma ve 2053 net sıfır karbon emisyonu hedeflerimiz doğrultusunda, hidrojen kullanarak karbon sıfır bir ekonomi modeli oluşturmaktır. Bu amaca ulaşmak için, "Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası" hazırlanmıştır.

Çalışmada, özellikle hidrojen teknolojilerinin yerli olarak geliştirilmesinin önemi vurgulanarak yerli ve millî bir araştırma, teknoloji geliştirilmesine yönelik destek ve uygulama programının oluşturulması için stratejik yol haritasının belirlenmesi amaçlanmıştır. Raporun hazırlanmasında ülkemiz ve dünyadaki hidrojen alanındaki çalışmalar ve gelişmeler dikkate alınarak hidrojen üretimi, depolanması, dağıtımı ve kullanım teknolojileri açıklanmıştır.

Ülkemiz, dünyada birçok sektörde yaygınlaşma süreci içerisinde olan hidrojeni kısa, orta ve uzun vadede hem üretme hem de teknoloji geliştiricisi olma potansiyeline sahiptir. Bu potansiyel göz önünde bulundurularak hazırlanan bu raporda ülkemizde hidrojen teknolojilerinin geliştirilebilmesi için gerekli ihtiyaçlar tespit edilmiş ve teknolojik/destekleyici çözümler belirlenmiştir.

Sonuç olarak ülkemiz için vizyon ve politika önerileri hazırlanmıştır. Yol haritasındaki önemli vizyon önerileri şu şekilde açıklanabilir:

- Yeşil hidrojen üretim maliyetini 2035 yılına kadar 2,4 ABD/kgH<sub>2</sub>'nin altına ve 2053 yılına kadar 1,2 ABD/kgH<sub>2</sub>'nin altına düşürmek,
- Elektrolizörün kurulu güç kapasitesinin 2030'da 2 GW'a, 2035'te 5 GW'a ve 2053'te 70 GW'a ulaşmasını sağlamaktır.

Ülkemizin sahip olduğu yüksek yenilenebilir enerji potansiyeli ve jeopolitik konumu gibi avantajlarını, yapılacak Ar-Ge faaliyetleri ile üretilen hidrojenin hem yurt içinde kullanılabilmesi hem de yurt dışına ihraç edilebileceği değerlendirilmektedir.

Bu amaçla: mevcut mevzuatın hidrojen açısından gözden geçirilerek uygun hâle getirilmesi, yeşil hidrojen üretiminde ve depolanmasında yerli aksam kullanılmasına yönelik teşvik mekanizmalarının ve sertifika programlarının oluşturulması, yerli ve millî teknolojilerin (elektrolizör, yakıt hücresi vb.) geliştirilerek üretilmesi için Ar-Ge ve Ür-Ge'nin teşvik edilmesi, uluslararası iş birliklerinin yapılması, ticari talep ve yatırımları teşvik etmek için kamu ve özel sektör iş birlikleri oluşturulması, nitelikli insan gücünün yetiştirilmesi ve tüm sektörlerde yeşil hidrojen kullanımının yaygınlaştırılmasının teşvik edilmesi gibi politikaların belirlenmesi kritik önem arz etmektedir. Türkiye'de 2053 yılı net sıfır emisyon hedefinde önemli rol oynayacak olan hidrojen enerjisi ve teknolojileri konusunda yetkinlik kazanılmasının yanında mevcut birikimin ticarileşme sürecine kadar ilerletilmesinin ülkemiz için önemli bir gereklilik olduğu değerlendirilmektedir.

## GİRİŞ

Bölgesel ve küresel gelişmeler ışığında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan, 2017 yılında duyurulan enerji arz güvenliği, yerleşme ve öngörülebilir piyasalar başlıkları üzerine inşa edilmiş olan “Millî Enerji ve Maden Politikası” ile “daha çok yerli, daha çok yenilenebilir” yaklaşımı benimsenmiş ve sürdürülebilirlik öncelik haline getirilmiştir. Bu çerçevede, sürdürülebilir bir anlayışla daha verimli, çevreye saygılı, güvenli ve yerli teknolojileri kullanarak yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarımızın enerji portföyündeki payını artırmak böylece enerjide ithalat maliyetlerini azaltmak öncelikli politikamızdır. Bu amaç doğrultusunda ülkemizin enerji arz güvenliği sağlanırken kaynakların çeşitlendirilmesi ve bu çeşitliliğin yerleşmesi önem arz etmektedir.

2020 sonrası iklim değişikliği rejiminin çerçevesini oluşturan “Paris Anlaşması”nın 7 Ekim 2021 tarihinde Resmî Gazete’de yayımlanması ile emisyon yoğun ve kaynak kullanımı fazla olan bir sektör olan enerji sektörünün de bu anlaşmanın getireceği düzenlemelerden en çok etkilenecek sektörlerden birisi olacağı bilinmektedir. Bu kapsamda ülkemiz, sürdürülebilir kalkınma hedefleri çerçevesinde, sahip olduğumuz enerji kaynaklarını etkin, verimli ve çevreye en az etkiyi yapacak şekilde kullanma azmindedir.

Bakanlığımız tarafından yayınlanan “Türkiye Ulusal Enerji Planı” ile 2053 net sıfır emisyon hedefi esas alınarak 2035 yılına kadar enerji sektöründeki hedeflerimiz belirlenmiştir. Bu çalışmada emisyon azaltımını sağlamak amacıyla yer verilen doğal gazla hidrojen ve sentetik metan ile karıştırılması ve hidrojen enerjisinin ilk aşamada yerinde tüketimi ve sanayinin ihtiyacının karşılanmasına yönelik kullanımı öngörülmektedir. 2035 yılı itibarıyla 5,0 GW’lık elektrolizör kapasitesi hedeflenmektedir.

Elektrifikasyon yönlü gelişmenin tamamlayıcısı olarak hidrojenin ham madde, yakıt, enerji taşıyıcısı ve enerji depolama gibi potansiyel kullanım imkanlarıyla sanayi sektörünün net sıfır emisyon hedeflerine ulaşmasına büyük bir katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Hidrojen, Türkiye’de yenilenebilir enerjinin üretim ve kullanım payını artırması, üretim, depolama ve kullanım teknolojilerini geliştirmesi, mevcut doğal gaz hatlarına karıştırılarak ısı sektöründe sera gazının azaltılması, kömür ve bor gibi yerli kaynakların kullanılmasına olanak sağlamasıyla, ülkemize yeni bir ihracat potansiyeli sunacaktır.

Bununla birlikte, Türkiye hem yüksek yenilenebilir enerji potansiyeli hem de yenilenebilir enerji kaynaklı santral kurulum maliyetlerinin Avrupa’ya nazaran daha düşük olması nedeniyle büyük bir yeşil hidrojen üretim potansiyeline sahiptir. Bu sebeple ülkemizin küresel hidrojen pazarında güçlü bir oyuncu olacağı değerlendirilmektedir.

Ülkemizde bu kapsamda yapılacak yatırımlar uzun vadede enerji verimliliği, karbonsuzlaşma ve hidrojen ihracatı yönünden büyük avantajlar sağlayacaktır. Dünyada hidrojen sektörünün karşı karşıya olduğu teknolojik, ekonomik, düzenleyici ve çevresel engelleri aşabilmesi için sürdürülebilir ve destekleyici politikaların oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle hidrojen teknolojileri konusunda Ar-Ge desteklerinin çeşitlendirilerek artırılması önem arz etmektedir. Ayrıca, konu hakkında hazırlanacak mevzuat ve planlama da önemli bir rol oynayacaktır. Hidrojenin herkes tarafından benimsenmesini hızlandırmak için uygulanacak strateji ve politikaların rolü oldukça büyüktür. Bu amaçla ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltmak ve mevcut avantajlarını kullanarak yerli ve milli elektrolizör ve yakıt hücresi teknolojilerinin geliştirilmesi, yeşil hidrojen üretimi, hidrojenin farklı sektörlerde kullanılması önem arz etmektedir.



## VİZYON

Yerli ve millî, ileri teknolojileri geliştirerek yeşil hidrojen üretiminde ve kullanımında dünyada öncü rol oynamaktır.



## MİSYON

Yerli ve millî teknolojileri temel alarak, yeşil hidrojenin üretiminden son kullanımına kadar etkin bir değer zinciri oluşturmak ve 2053 net sıfır hedefine katkı sağlamaktır.



## STRATEJİK ÖNCELİK







Yerli kaynaklarımızdan üretilen yeşil hidrojen, ülkemizin kendi ihtiyacını karşılarken ihtiyaç fazlasının ise ihraç edilmesi ülkemize önemli bir döviz girdisi sağlayacaktır.

# HİDROJEN TEKNOLOJİLERİ

## Hidrojen Üretim Teknolojileri

Hidrojen üretimi için birincil enerji kaynağına ihtiyaç vardır. Bu kaynakların türüne göre hidrojen üretimi çeşitlendirilmektedir. Hidrojen yenilenebilir enerji ile elde edilmesi halinde “yeşil hidrojen”, fosil yakıtlardan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) yakalama sistemleri kullanılarak üretilirse “mavi hidrojen”, fosil yakıtlardan piroliz gibi prosesler ile CO<sub>2</sub> olmadan üretilirse “turkuaz hidrojen”, nükleer enerjiyle üretilirse “pembe hidrojen”, doğal gazın reformasyonundan elde edilirse “gri hid-

rojen” ve gazlaştırma yöntemiyle kömürden CO<sub>2</sub> yakalamadan elde edilirse “kahverengi hidrojen” olarak tanımlanır. Karbondan arındırılmış hidrojen üretimi, emisyon azaltma hedeflerine ulaşma açısından önemlidir. Kaynaklarına göre üretilen hidrojen yöntemleri aşağıda yer almaktadır.

Teknoloji	Birincil Enerji/Elektrik Kaynağı	Karbon Ayak İzi (kgCO <sub>2</sub> /kgH <sub>2</sub> )	Maliyeti (ABD doları/kgH <sub>2</sub> )
 Su elektrolizi	Yenilenebilir enerji	<1	4,0-9,0
 Su elektrolizi	Nükleer enerji	<2	3,5-7,0
 Piroliz	Fosil yakıt	<3	1,25-2,20
 Buhar metan reformlama (karbon yakalama ile)	Doğal gaz, kömür	<4	1,5-3,00
 Buhar metan reformlama (karbon yakalamadan)	Doğal gaz	8-10	0,5-1,70
 Gazlaştırma	Kömür	>20	1,0-2,2

Şekil 1. Kaynaklarına göre hidrojen üretim yöntemleri

## Hidrojen Depolama ve Dağıtım Teknolojileri

Hidrojenin kısa, orta ve uzun vadede kara yolu, demir yolu, deniz ve hava taşımacılığında, sanayide, yeşil kimyasalların üretiminde, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunda, binalarda ve benzer birçok alanda kullanılması hedefi hidrojen depolama teknolojilerine olan ilgi ve ihtiyacı artırmaktadır.

Fiziksel hidrojen depolama yöntemleri hidrojenin sıvı, soğuk/kriyo gaz ve basınçlı gaz olarak depolanmasına göre sınıflandırılmaktadır. Büyük ölçekli uygulamalar için genellikle yer altı depolama sistemleri kullanılmaktadır. Malzeme tabanlı hidrojen depolama sistemleri adsorbanlar, sodyum borhidrür ve kimyasal taşıyıcılar olarak sınıflandırılmaktadır.

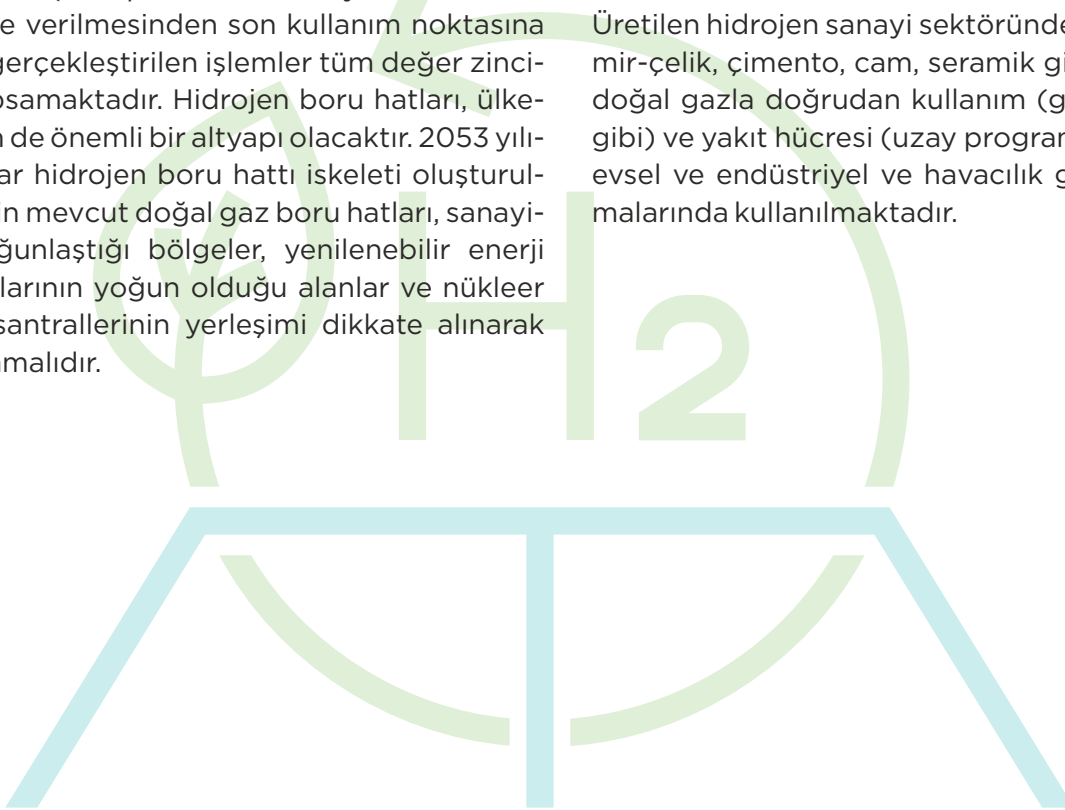
Hidrojenin iletimi ve dağıtımı, hidrojen kullanımının farklı sektörlerde yaygınlaştırılması ve dekarbonizasyonun sağlanması açısından oldukça önemlidir. Üretim kaynağından hidrojenin taşınma amaçlı depolanmasına veya boru hatları içerisine verilmesinden son kullanım noktasına kadar gerçekleştirilen işlemler tüm değer zincirini kapsamaktadır. Hidrojen boru hatları, ülkemiz için de önemli bir altyapı olacaktır. 2053 yılına kadar hidrojen boru hattı iskeleti oluşturulması için mevcut doğal gaz boru hatları, sanayinin yoğunlaştığı bölgeler, yenilenebilir enerji kaynaklarının yoğun olduğu alanlar ve nükleer enerji santrallerinin yerleşimi dikkate alınarak planlanmalıdır.

## Hidrojen Kullanım Alanları ve Uygulama Teknolojileri

Hidrojen yakıt ve ham madde olarak özellikle enerji ve kimya sektörlerinde ekonominin ve günlük yaşamımızın birçok yönünü desteklemektedir. Enerji tüketiminde hem dünyada hem de ülkemizdeki artış dikkate alındığında hidrojenin çevresel etkiler açısından önemli rol oynayacağı açıktır. Mevcut planlara göre düşük karbonlu hidrojen talebinin endüstriyel uygulamalarda ve gaz şebekelerinde 2030 yılına kadar 100 ktH<sub>2</sub>/yıl'ı geçmesi beklenmektedir.

Demir-çelik, havacılık ve denizcilik sektörlerinde ise daha uzun vadede uygulamalar beklenmektedir. Hidrojenin doğrudan kullanımı yanında hidrojenden üretilen metanol ve amonyak gibi kimyasalların hem yakıt olarak hem de çeşitli endüstriyel işlemlerde kullanım potansiyeli yüksektir. Hidrojenden üretilen bu yakıtlar bazı durumlar ve belirli uygulamalar için depolanması ve taşınması daha kolay olduğundan daha caziptir.

Üretilen hidrojen sanayi sektöründe (kimya, demir-çelik, çimento, cam, seramik gibi), saf veya doğal gazla doğrudan kullanım (gaz türbinleri gibi) ve yakıt hücresi (uzay programları, ulaşım, evsel ve endüstriyel ve havacılık gibi) uygulamalarında kullanılmaktadır.

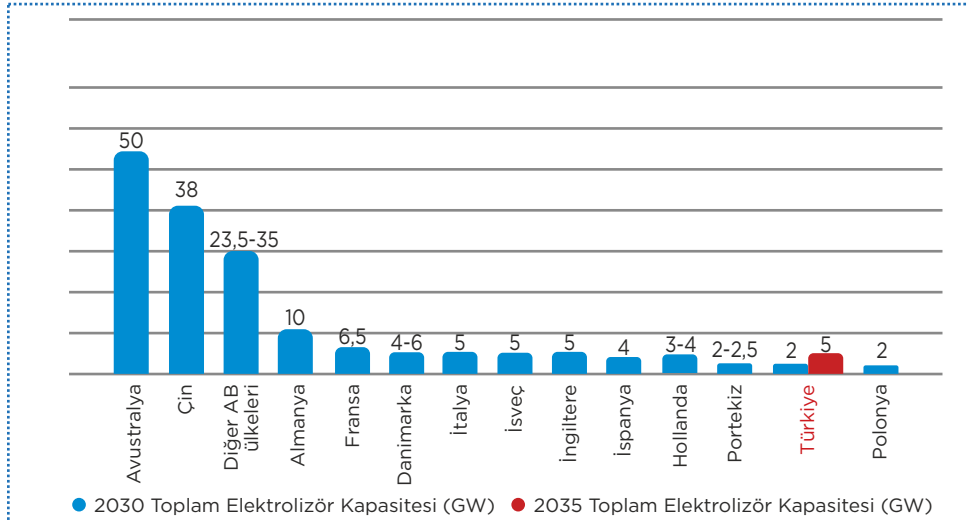


## KÜRESEL VİZYON VE HEDEFLER

AB, uzun vadeli planlarında 2050 yılına kadar hidrojenin Avrupa'nın enerji tüketimindeki payının %13-14'e çıkmasını hedeflemektedir. AB'nin altıncı en büyük ticaret ortağı ve küresel yenilenebilir arenada dikkate değer bir oyuncu olan ülkemizin de bu hedeflere ayak uydurması için hidrojen alanında net bir ulusal strateji ortaya koyması ve bu stratejiler kapsamında teknolojilerde yetkinlik kazanarak küresel ölçekte rekabetçi konuma gelmesi, uygulamaları yürütmesi büyük önem arz etmektedir.

Mart 2022 tarihinde ise Avrupa Komisyonu üye ülkeleri 2030 yılına kadar fosil yakıtlardan bağımsız hâle gelerek 10 milyon ton yeşil hidrojen üretim ve 10 milyon ton yeşil hidrojen ithalat hedefini içeren "REPowerEU Planı"nı yayımlamıştır. Bu planda AB hedefleri revize edilmiş ve 2030 yılına kadar kurulu elektrolizör kapasitesinin 65-80 GW olması planlanmıştır. Bazı ülkelerin mevcut durum ve hedefleri aşağıda özetlenmiştir.

Ülke	Mevcut Durum ve Hedefler
Almanya	2030 yılı elektrolizör kapasite hedefi 10 GW'tır. Bu elektrolizör kapasitesinin desteklenmesi için 20 TWh gibi bir yenilenebilir enerji kaynağına (çoğunlukla rüzgâr) ihtiyaç vardır. Toplam kurulu gücü 29 MW olan 34 adet gaz yakıtından güç üretim (G-G) tesisi bulunmaktadır.
İngiltere	2030 yılına kadar en az yarısı elektrolit hidrojen olmak üzere 10 GW düşük karbonlu hidrojen üretim hedefi belirlenmiştir.
İspanya	2030 yılı elektrolizör kapasite hedefi 4 GW'tır.
Hollanda	2030 yılına kadar 3-4 GW elektrolizör kapasitesi kurulması hedeflenmektedir. 50 hidrojen dolmuş istasyonunun kurulması, 15.000 yakıt hücreli otomobil ve 3.000 kamyon kullanılması hedeflenmektedir.
Fransa	2030 yılı elektrolizör kapasite hedefi 6,5 GW'tır. 2020 itibarıyla gri hidrojen için 44,6 avro/tonCO <sub>2</sub> karbon vergisi alınmaktadır. 2030'da bu tutarın 100 avro/tonCO <sub>2</sub> 'ye yükseltilmesi öngörülmektedir.
Diğer AB Ülkeleri	AB ülkelerinin 2030 yılına kadar kurulu elektrolizör kapasite hedefi 65-80 GW'tır. Danimarka 4-6 GW, İtalya 5 GW, İsveç 5 GW, Portekiz 2-2,5 GW ve Polonya 2 GW elektrolizör kapasite hedefi belirlemiştir.
Avustralya	2030 yılına kadar planlanan projelere dayalı olarak yaklaşık 50 GW'lık bir elektrolizör kapasitesine ulaşması beklenmektedir. Çin, Japonya, Güney Kore ve Singapur ile antlaşmalar yapmış olup 2030'da 3,8 Mt hidrojene (~9,5 milyar Avustralya doları) ulaşacak ihracat planlanmaktadır.



Şekil 2. Küresel elektrolizör kapasite hedefleri



## TÜRKİYE'DE MEVCUT DURUM

Ülkemizde hidrojen ilk kez 2 Mayıs 2007 tarihinde yayımlanan Resmi Gazete'de "Enerji Verimliliği Kanunu"nda kullanımı özendirilmesi gereken alternatif bir yakıt olarak resmi belgelere girmiştir. 2011 yılında da hidrojen yakıtlı araçlara ilişkin bir yönetmelik çıkarılmıştır. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından projelerinde fosil enerji kaynaklarına alternatif olarak teşvik edilecek temiz enerji yakıtları arasında hidrojeni de içeren "Ulaştırmada Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik" 2 Mayıs 2019 tarihinde yayımlanmıştır.

15 Ocak 2020 tarihinde ETKB'nin düzenlediği "Hidrojen Arama Konferansı" ile hidrojenin aşağıdaki dört ana fayda üzerinden elde edileceği belirtilmiştir. Bunlar:

- Daha fazla yenilenebilir enerjiyi sisteme dahil etmek,
- Isı sektörünü karbon emisyonuz hâle getirmek,
- Yerli kömürden CO<sub>2</sub> yakalama teknolojileri kullanarak hidrojen üretimi gerçekleştirmek,
- Hidrojenin depolanması için bor bileşiklerinin kullanımını artırmaktır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin dengelenmesi için depolama teknolojilerinin kullanılması gerekliliğine değinilen konferansta, doğal gaz dağıtım hatlarına %2-6 oranında hidrojen karıştırılmasının yöntemlerden biri olduğu ifade edilmiş ve Türkiye ölçeğinde bunun 1-3 milyar m<sup>3</sup>H<sub>2</sub> sisteme verilmesi anlamına geldiği belirtilmiştir.

Hidrojen ekosistemi kurulmasına yönelik ayrı bir hidrojen piyasası kanunu oluşturulabileceği gibi hidrojene ilişkin düzenleyici çerçevenin oluşturulmasına temel olabilecek hükümlere Doğal Gaz Piyasası Kanunu (4646 Sayılı Kanun), Elektrik Piyasası Kanunu (6446 Sayılı Kanun) veya Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunu'nda (5346 Sayılı Kanun) yer verilmesi mümkündür.

25 Şubat 2022 tarihinde yayımlanan İklim Şurası Komisyon Tavsiye Kararları'nda hidrojenin üretimi, depolanması ve kullanımı teknolojilerinin geliştirilmesi ile Hidrojen Stratejisi ve Yol Haritası'nın hazırlanması hususlarına da yer verilmektedir.

4 Eylül 2022 tarihli ve 31943 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Orta Vadeli Program (2023-2025)"a göre ana ihracat pazarımız olan AB'de devam etmekte olan kaynak verimli ve rekabetçi yeşil dönüşüm politikaları kapsamında ülkemizin 2053 net sıfır emisyon hedeflerine ulaşması için tüm sektörlerde gereken adımların atılmasına devam edileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte ülkemizde;

- Yeşil dönüşüm altyapısının oluşturulması için başta tarım, sanayi, ulaştırma ve enerji sektörlerinde olmak üzere yeşil teknoloji Ar-Ge projeleri desteklenmeye devam edilecek, yeşil hidrojen ve enerji depolama gibi emisyon azaltılmasına katkı sağlayan teknolojilerin yatırım ekosistemi geliştirilecek,
- Net sıfır emisyon hedefine giden yolda orta vadeli düşük karbonlu büyüme stratejisi ortaya koyulacak, sektörlerin yeşil dönüşüm için ihtiyaç duyacağı ilave yatırım miktarı tespit edilecek ve rekabet güçlerinin korunması amacıyla çeşitli destek mekanizmaları planlanacak,
- İklim finansmanına erişim imkanları özel sektörün ihtiyaçları dikkate alınarak geliştirilecek, verimlilik artıran dönüştürücü nitelikli, katma değeri yüksek, sera gazı emisyon artışını sınırlayan ve yeşil becerileri artıran yatırımlara öncelik verilecektir.

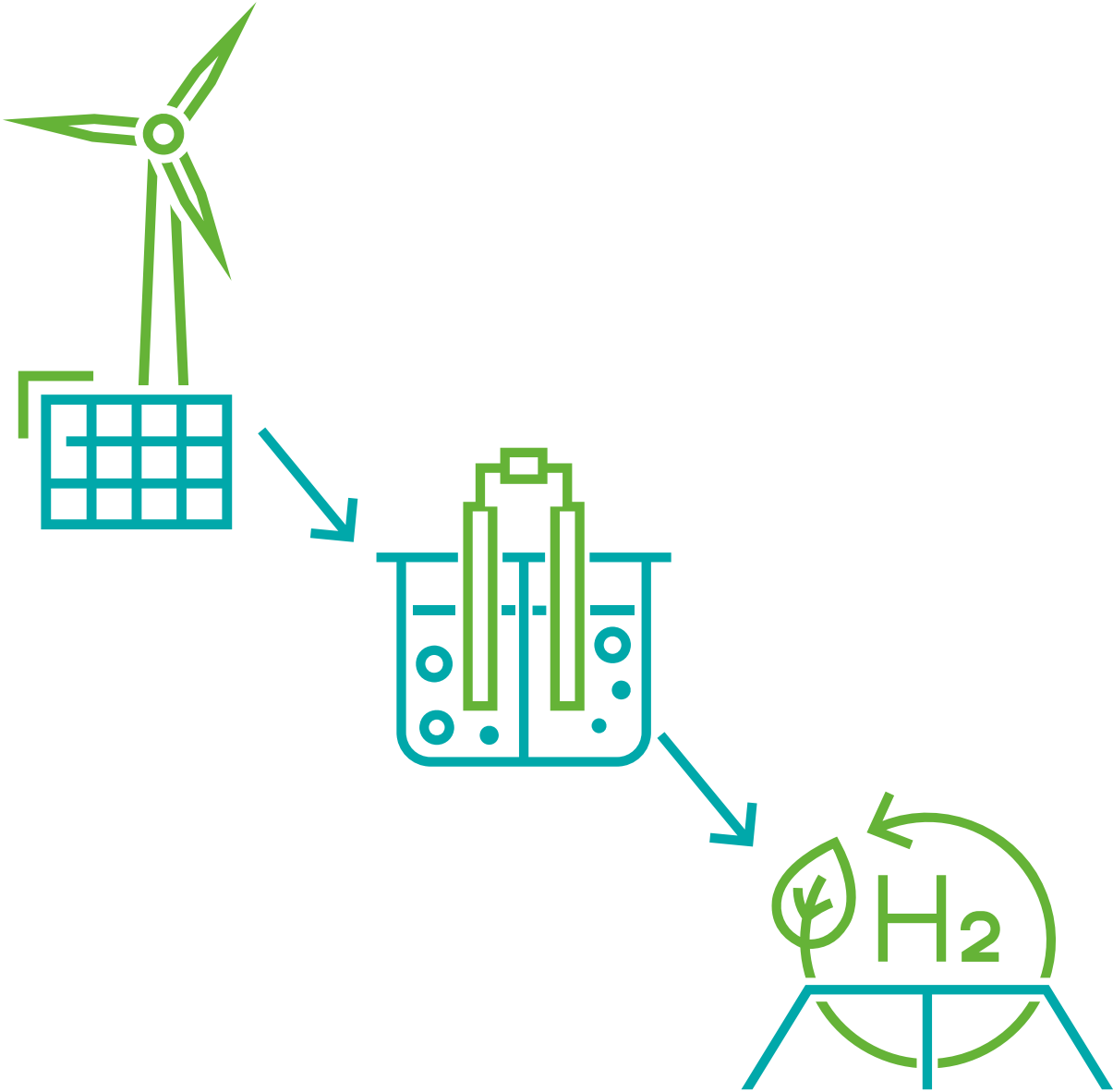
T.C. Cumhurbaşkanlığı Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Kurulu'nca yapılan çalışmalar hidrojen teknolojileri konusunda gelişmelerin önemini ortaya koymaktadır. Kurul tarafından ülkemizin, hidrojen teknolojileri alanında kendi kendine yetecek ve hidrojen teknolojileri ihracatı gerçekleştirecek rekabetçi bir konuma ulaşmasını ve enerji arz güvenliğini/çeşitliliğini sağlayacak

politika ve eylem önerileri oluşturmak amacıyla Mayıs 2021’de hazırlanan “Hidrojen Teknolojileri Politika Önerileri Raporu”ndan, ihtiyaç ve teknolojik/destekleyici çözümler bölümünde faydalanılmıştır.

2053 net sıfır emisyon hedeflerine ulaşma yolunda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından “Türkiye Ulusal Enerji Planı” yayınlanmış ve emisyon azaltımını sağlamak amacıyla doğal gazın hidrojen ve sentetik metan ile karıştırıl-

ması çalışmalarının yapılacağı ve gaz karışımı içindeki hidrojenin payının %3,5 olacağı belirtilmiştir.

Ayrıca Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından hazırlanan 12. Kalkınma Planı (2024-2028) ve ETKB 2024-2028 Stratejik Planı çalışmalarında hidrojen konusu öncelikli olarak ele alınacak olup bu doğrultudaki hedeflere yer verilmesi planlanmaktadır.



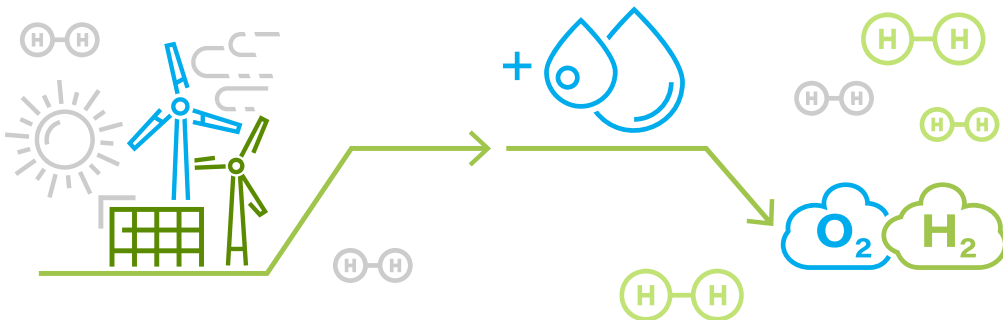
# HİDROJEN TEKNOLOJİLERİNDE İHTİYAÇ, ÇÖZÜM VE YOL HARİTALARI

Hidrojen teknolojilerinde ihtiyaç, çözüm ve yol haritaları belirlenirken aşağıda özetlenen dünyadaki eğilimler ile ülkemizin öncelikleri çerçevesinde mevcut durum ve kaynakları dikkate alınmıştır.

- Türkiye'nin de Paris Anlaşması'nı onaylaması üzerine başta ulaşım, petrokimya, demir-çelik, gübre ve çimento gibi sektörlerde yeşil hidrojen kullanım oranı hızla artacaktır.
- Demir-çelik gibi enerji tüketimi yoğun olan sektörlerde, üretildiği yerin yakınında düşük maliyetli hidrojen kullanımı için çalışmalar yürütülecektir.
- Kapalı alan yük taşıma (fork-lift) ve uzun mesafe ağır yük taşımacılığı için hidrojenli araç sayılarında önemli artış olacaktır.
- Yeşil amonyağa talep artma eğilimindedir.
- Küresel CO<sub>2</sub> emisyonlarının önemli bir kısmına sebep olan denizcilik ve havacılık sektöründe hidrojen kullanımı yönünde planlar ve araştırmalar yapılacaktır.
- Gaz şebekelerinde hidrojenin doğal gaza eklenerek ya da doğrudan kullanımı ile binalarda ve sanayide ısı ihtiyacının karşılanmasına yönelik proje ve pilot çalışmalar sürdürülecektir.
- Türkiye'nin yerli kaynaklarından üreteceği mavi hidrojen çeşitli sektörlerde hidrojen ekonomisine geçişte etkili olacak ve hidrojen ihtiyacının bir bölümü bu yolla karşılanacaktır.
- Enerji kaynaklarımızla üretilen yeşil hidrojenin kullanımıyla enerji arz güvenliği, çevresel sürdürülebilirlik ve yaşam kalitesinin

(temiz hava, su ve toprak) artırılması hedeflenmiştir.

- Türkiye enerji alanında fosil yakıt ithalatına büyük ölçüde bağımlı olmasına rağmen son on yılda hidroelektrik, güneş ve rüzgâr öncülüğünde yenilenebilir elektrik üretimini iki katına çıkarmıştır. Güneş ve rüzgârda sahip olduğu kaynak potansiyeli ve özellikle düşük PV kurulum maliyetleri göz önüne alındığında, Türkiye'nin yenilenebilir enerjide daha fazla büyüme sağlayacağı açıktır. Bununla birlikte, yerli elektrolizör geliştirme çalışmalarının hızlanması ve dünyada bu alanda önemli gelişmelerin hâlihazırda kaydedilmiş olması, ülkemizin yerli kaynağı olan yenilenebilir enerjiden elde edilen elektriği kullanarak elektrolizör ile yeşil hidrojenin her alanda kullanımına imkân sağlayacaktır.
- Rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik enerjisi üretimi içerisindeki payının artması ve bu kaynakların kesintili olması nedeniyle enerji depolama konusu hem teknik hem de ekonomik nedenlerle zorunlu bir ihtiyaç haline gelmektedir. Bu durum alternatif bir enerji depolama aracı olarak fazla elektrik enerjisinden hidrojen üretiminin de dikkate alınmasını gerektirmektedir.
- İklim değişikliği ile mücadele kapsamında CO<sub>2</sub> yakalama sonrası karbonun değerlendirilmesine yönelik hidrokarbon esaslı yakıtlar ve her türlü malzeme üretiminde hidrojene olan ihtiyacın giderek artacağı öngörülmektedir.



## Hidrojen Teknolojileri Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları ve Bu İhtiyaçlara Yönelik Teknolojik/Destekleyici Çözümler

No	İhtiyaçlar	Teknolojik/Destekleyici Çözümler
<b>Üretim ve Kullanım Teknolojileri</b>		
1	Elektrolizör teknolojisinin yerleştirilmesi ve millileştirilmesi için sistem alt bileşenlerinin Ar-Ge/Ür-Ge çalışmalarıyla pilot tesis ve ticari ölçeğe taşınması	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ülkemizde yerli ve millî elektrolizörlerin üretimine yönelik eksiklikler tespit edilecek ve bu kapsamda özel proje çağrıları oluşturularak elektrolizörlerin geliştirilmesi sağlanacaktır. Bu sayede yeşil hidrojen üretiminde kritik öneme sahip elektrolizör teknolojilerinde ülkemizin ihtiyacı, dışa bağımlı olmadan karşılanabilecektir.</li> <li>• Yerli ve millî elektrolizör seri üretimi için; <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Elektrolizör hücre ve modül tasarımları,</li> <li>▶ Katalizör, elektrot, membran ve membran elektrot ünitelerinin üretimi,</li> <li>▶ Sistem kontrol donanım ve yazılımlarının geliştirilmesi,</li> <li>▶ Üniversite ve sanayi iş birlikleri ile test altyapısı oluşturulması sağlanacaktır.</li> </ul> </li> </ul> <p>Elektrolizör ve alt bileşenlerinin üretimi konusunda Teknoloji Hazırlık Seviyesi (THS)'si yüksek olan uluslararası firmaların teknoloji transferi yapılması desteklenecektir.</p>
2	Yakıt hücresi teknolojisinin yerleştirilmesi ve millileştirilmesi için sistem alt bileşenlerinin Ar-Ge/Ür-Ge çalışmalarıyla pilot tesis kurulması ve sonrasında ticari ölçeğe taşınması	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yakıt hücreleri ile ilgili çalışan firmalar, akademisyenler, araştırma merkezleri ve girişimciler buluşturulacak, ihtiyaçlar belirlenecek ve iş birlikleri oluşturulacaktır. Yerlilik seviyesi tespit edilerek güçlü ve zayıf yönler ortaya çıkarılacaktır. THS'ni artırmak ve yakıt hücrelerini yaygınlaştırmak için Ar-Ge ve Ür-Ge çağrıları oluşturularak yakıt hücrelerinin seri üretimi ve kullanımının ülkemizde geliştirilmesi sağlanacaktır.</li> <li>• Yakıt hücresi teknolojisi THS'nin artırılması ve seri üretimi için; <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Yeni hücre ve modül tasarımları,</li> <li>▶ Katalizör, bipolar plaka, elektrot, membran geliştirilmesi ve üretimi,</li> <li>▶ Sistem kontrol donanım, yazılım ve güç koşullandırma sistemlerinin geliştirilmesi,</li> <li>▶ Prototip ve seri üretimlerin desteklenmesi,</li> <li>▶ Gerekli üretim ve test altyapısının sağlanması,</li> <li>▶ Proje ve üretim destek mekanizmalarının sağlanması,</li> <li>▶ Kritik teknoloji transferi ortaklıklarının oluşturulması sağlanacaktır.</li> </ul> </li> <li>• Yakıt hücresi üretiminde gerekli olan nadir element kategorisindeki ham maddelerin ülkemiz içindeki rezervlerinin belirlenmesi ve geleceğe dönük üretimlerinin aksamaması adına önceden planlama yapılarak ihtiyaç miktarına göre tedarik zincirinin oluşturulması gerekmektedir. Aynı şekilde ülke rezervlerimizin millî ihtiyacın üzerinde olması durumunda bahsedilen değerli madenlerin işlenerek ihracatı sağlanacaktır.</li> </ul>
3	Yerli kaynaklardan (doğal gaz, linyit ve organik atıklar) hidrojen üretim çalışmalarının yapılması	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Linyitten hidrojen üretimi ile ilgili mevcut durum ve THS belirlenerek gerekli altyapı ve destekler tespit edilecektir. Bu sayede hidrojen ihtiyacının bir bölümü karşılanırken, yerli kömür gazlaştırma ve hidrojen üretim teknolojileri de geliştirilmiş olacaktır. Gazlaştırma ile hidrojen üretilen organik atıkların envanteri yapılacak, gerekli destekler ve altyapı belirlenecektir. Ülkemizin mevcut yerli kaynakları ve organik atıklar en verimli şekilde kullanılarak hidrojen üretilmesi için pilot tesislerin faaliyete geçirilmesi, teknoloji seviyesinin yükseltilmesi, bu konuda yan sanayi kabiliyetlerinin geliştirilmesi ve akademik araştırmaların artırılması sağlanacaktır.</li> </ul>
4	Yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrojen üretecek sektör oluşturulması	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yenilenebilir enerji santralleri ile bütünleştirilmiş hidrojen üretim tesislerinin kurulması; verimlilik, depolama, iletim ve maliyet açısından önemli avantajlar sağlayacaktır. Uygun maliyetli yeşil hidrojen üretimi için rüzgâr, güneş ve hidroelektrik enerjisi potansiyeli yüksek sahaların hidrojen üretim bölgeleri olarak belirlenmesi önem arz etmektedir. Rafineri, çimento ve doğal gaz dağıtım sektörlerinin dâhil olduğu büyük çaplı bir hidrojen pilot bölgesi belirlenecektir. Ayrıca, kullanım fazlası elektriğin hidrojen olarak depolanabileceği pilot "pompaj depolamalı Hidroelektrik Santrali (HES)" hidrojen üretim uygulaması gerçekleştirilecektir.</li> <li>• Elektrik arz talep dengesi sağlanırken bazı durumlarda santrallerin elektrik üretimini azaltması veya tamamen durdurması gerekmektedir. Bu da Rüzgâr Enerji Santralleri (RES) ve Güneş Enerji Santralleri (GES) yatırımlarının tam kapasitelerini kullanamamalarına ve yatırım geri dönüş sürelerinin uzamasına neden olmaktadır. RES ve GES üretimlerinin bir bölümü hidrojen üretimine yönlendirilerek hidrojen üretimi gerçekleştirilebilecektir. Hidrojen üretiminde kullanılacak elektrolizörler için ise yerli firmalara öncelik sağlanması suretiyle, yerli ve millî elektrolizör geliştirilmesi ve üretilmesine imkân verilecektir.</li> </ul>

## Hidrojen Teknolojileri Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları ve Bu İhtiyaçlara Yönelik Teknolojik/Destekleyici Çözümler

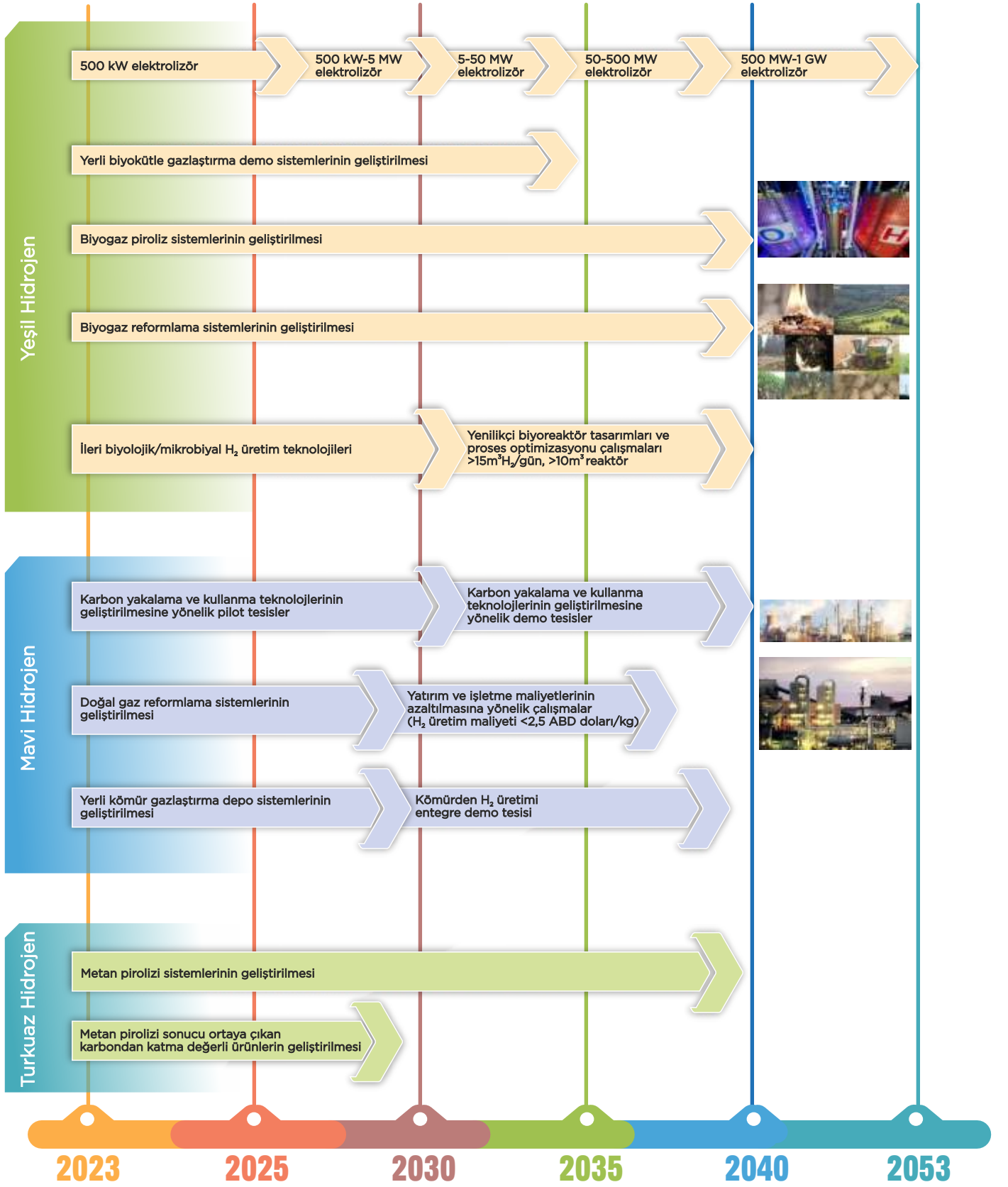
No	İhtiyaçlar	Teknolojik/Destekleyici Çözümler
5	Hidrojen teknolojileri için gerekli malzemelerin yerli olarak üretilmesi ve yan sanayi kabiliyetlerinin artırılması	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ülkemizde hidrojen, elektrolizör ve yakıt hücreleri hakkında çalışan çok sayıda üniversite, kamu ve özel kuruluş mevcuttur. Söz konusu çalışmalar çoğunlukla birbirinden bağımsız olarak; tasarım, modelleme, kontrol, test, bileşen üretimi ve sistem entegrasyonu gibi başlıklarda ele alınmaktadır. Proje yürütücüsü olan kurum ve kuruluşların her biri farklı THS'lerde çalışmalar yürütmektedir. Tamamlayıcılığı sağlayabilmek, mevcut birikimden faydalanabilmek ve geleceği planlayabilmek için mevcut durumun tespiti ile güçlü ve zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler analizinin yapılması önemlidir.</li> <li>• Hidrojen teknolojileri için gerekli malzemeler genellikle yoğun ve uzun soluklu araştırmalar ve destekler ile üretilebilmektedir. Hidrojen teknolojilerinin ülkemizde yaygınlaştırılması ve yerli üretim için gereken bileşenlerin tedarik zincirinin sağlanması önemlidir. Tedarik zinciri sağlanırken, kritik konularda teknoloji transferine de imkân verebileceği ve yerli üreticinin hızla yol almasının kolaylaştırılabileceği değerlendirilmektedir. İş modellerinde tüm senaryoları içeren planlar oluşturularak yerli üreticinin desteklerle alternatif çözümler üretmesine imkân sağlanacaktır.</li> </ul>
6	Hidrojenin enerji alanında kullanımını sağlayan sistemlerin (yakıcı, kazan, kombi vb.); bileşenlerinin tasarlanması, geliştirilmesi, seri üretimi, önceliklendirilmesi, entegrasyonu ve test edilmesi konularında çalışmalar yapılması	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrojen yakma teknolojilerinde ülkemizde yürütülen çalışmalarda mevcut durumun tespiti, bileşenlerin yerli ve milli seri üretim envanterinin çıkarılması ile güçlü ve zayıf yönler, fırsatlar ve tehditler analizinin yapılmasına müteakip çalışmalar yürütülecektir.</li> </ul>
<b>Depolama ve Dağıtım Teknolojileri</b>		
7	Stratejik öneme sahip bor kaynaklarının hidrojen depolanmasında kullanımı için araştırma faaliyetlerinin artırılması	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Borlu hidrojen teknolojilerinin uygulamalarına yönelik ülkemizde gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen tecrübe ve bilgi birikimi değerlendirilerek pilot ve seri üretim kapasitesi ortaya çıkarılacaktır. <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Kara, deniz ve hava araçlarında,</li> <li>▶ İnsansız araçlarda,</li> <li>▶ Telsiz ve batarya şarjlarında,</li> <li>▶ Zırhlı araç ve denizaltı gibi savunma sanayi alanlarında Ar-Ge faaliyetleri yürütülerek, ticari ürünlere yönelik proje destekleri oluşturulacaktır.</li> </ul> </li> <li>• Aynı zamanda SBH'den hidroliz yoluyla hidrojen üretimine olanak sağlayan, hidrojen üretim sistemlerinin geliştirilmesine ve sodyum metaborat gibi yan ürünlerin değerlendirilmesine yönelik çalışmalar desteklenecektir.</li> <li>• Bor ve bor bileşiklerinin hidrojen teknolojilerinde kullanımı için mevcut durum ile güçlü ve zayıf yönler belirlenmelidir. Hidrojenin bor bileşiklerinde depolanması ve hidrolizle hidrojen üretilmesi, savunma, uzay uygulamaları için borlu katı yakıtların geliştirilebilmesi ve ticari uygulamaların gerçekleştirilebilmesi için THS'nin artırılması yönünde gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Anılan çalışmalar için ilgili kurumlar arasında koordinasyon sağlanmalıdır. Bu kurumlar tarafından borlu hidrojen teknolojileri için stratejik alanlar ve öncelikli Ar-Ge projeleri belirlenerek ticari ürün geliştirme çalışmaları yapılacaktır.</li> </ul>
8	Hidrojenin, gaz/sıvı hâlde katı malzemeler kullanılarak depolanması ve ayrıca iletim/dağıtım için yerli malzeme ile depolama sistemlerinin üretilmesinde ve geliştirilmesindeki eksikliklerin giderilmesi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Depolama, iletim ve dağıtımda öne çıkan teknolojiler dikkate alınarak, mevcut doğal gaz dağıtım ve iletim hatlarının hidrojen için uygunluğu gibi teknik özelliklerinin incelenip uygun hâle getirilmesi için mevcut durum ve geliştirilmesi gereken alanlar tespit edilecektir.</li> <li>• Hidrojene geçiş planlarında ülkemizin artacak taleplerinin yerli ve milli olarak karşılanabilmesi için gerekli malzemelerin üretimine yönelik çalışmalar yapılacaktır. Bu kapsamda; <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Boru hatlarıyla taşıma için gerekli malzemeler,</li> <li>▶ Kara taşıtları için basınçlı depolar,</li> <li>▶ Hidrojen depolamada metal hidrürler (özellikle borlu bileşikler),</li> <li>▶ Havacılık, uzay ve savunma sanayisinde kriyojenik tankların üretimi için destekler oluşturulacaktır.</li> </ul> </li> <li>• Hidrojenin iletim ve dağıtımına uygun boru üretimi için gerekli malzemelerin üretilmesi, hem iç ihtiyacın karşılanmasını sağlayacak hem de ihraç edilen ürün çeşitliliğini artıracaktır.</li> <li>• Hidrojen kullanımının yaygınlaşması ile ihtiyaç duyulacak büyük hacimde depolama kabiliyetinin oluşturulması için, doğal gaz depolamasında kullanıldığı gibi, yer altı tuz mağaralarında hidrojenin depolanabilmesi imkânları araştırılacaktır.</li> </ul>

## Hidrojen Teknolojileri Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları ve Bu İhtiyaçlara Yönelik Teknolojik/Destekleyici Çözümler

No	İhtiyaçlar	Teknolojik/Destekleyici Çözümler
9	Hidrojenin, doğal gaz boru hatları ile taşınması, dağıtımı ve kullanımına ilişkin altyapının oluşturulması	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mevcut doğal gaz iletim ve dağıtım hatlarının hidrojen taşınmasına uygunluk, geçirgenlik, kırılabilirlik, ömür vb. teknik özellikler açısından incelenerek hidrojen taşınması için uygun hâle getirilmesi hususunda altyapı yatırımlarının yapılması ve sürekliliği sağlanacaktır.</li> <li>Saf hidrojen veya hidrojenle zenginleştirilmiş doğal gazın taşınması için gerekli olan vana, ölçüm sistemleri (sensör, analizör, dedektör vb.), regülatör ve bağlantı malzemeleri gibi alt bileşenlerin uluslararası standartlara uygun olarak üretilmesi gerekmektedir. Yan sanayinin desteklenmesiyle ihtiyaç duyulan sistemlerin üretimi mümkün hâle gelebilecektir.</li> <li>Ülkemizde hidrojenle zenginleştirilmiş doğal gazın kullanımı için mevcut sistemlerin uygunluğu yürütülmekte olan çeşitli Ar-Ge çalışmaları ile sınırlı kapsamda kalarak küçük ölçeklerde incelenmiştir. Bununla birlikte, yaygınlaştırma ve endüstriyel ölçüğe taşınma kapsamında farklı hidrojen içeriklerine (%2-20) göre detaylı çalışmalar yapılacaktır. Doğal gaza hidrojen karıştırılmasıyla ilgili; <ul style="list-style-type: none"> <li>Mevcut doğal gaz sistemlerinin hidrojenle zenginleştirilmiş olarak kullanımına uygunluğunun belirlenmesi,</li> <li>Yüksek oranlarda hidrojen karışımı doğal gaz yakma sistemlerinin geliştirilmesi,</li> <li>Geliştirilen yakma sistemlerinin pilot ölçekten seri üretim ölçüğüne geçirilmesi çalışmalarının yapılması ve desteklenmesi sağlanacaktır.</li> </ul> </li> </ul> <p>Söz konusu çalışmaların yapılmasıyla, detaylı bir yaşam çevrim etki analizi yapılarak doğal gaz hatlarına hidrojen katılmasının sağlayacağı çevresel, sosyal ve ekonomik kazanımlar belirlenecektir.</p>
10	Hidrojen iletim, dağıtım ağının ve dolun istasyonlarının kurulması	<ul style="list-style-type: none"> <li>Türkiye’de hem Ar-Ge projeleri kapsamında yurt içinde geliştirilecek hem de yurt dışı firmalar tarafından piyasaya sunulan yakıt hücreli araçların yakıt ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için hidrojen dolun istasyonlarının ülkemizde de kurulması ve yaygınlaşması sağlanacaktır. Hidrojen dolun istasyonlarının kurulduğunda insan ve çevre için oluşturulan uluslararası güvenlik standartları göz önünde bulundurulacaktır. Özellikle yenilenebilir elektriğin kullanıldığı hidrojen üretim sistemleri ve dolun istasyonları bütünlük olarak planlanacak ve yaygınlaştırılacaktır.</li> </ul>
11	Yakıt hücreli sistemlerin taşınabilir (şarj sistemleri vb.), sabit (mikrokojenerasyon, güç sistemleri vb.) ve araç (kara, hava ve deniz) uygulamalarına yönelik çalışmaların yapılması	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kara, hava ve deniz araçlarının askeri uygulamalarda sessiz çalışması ve ısı izlenebilirliğinin düşük olması önemli avantajlar sunmaktadır. Teknolojik etkinlik açısından yakıt hücreli sistemlerin ülkemize kazandırılması ve yaygınlaştırılması için; <ul style="list-style-type: none"> <li>Öncelikle mevcut altyapıların desteklenerek güçlendirilmesi,</li> <li>Gerekli Ar-Ge desteklerinin sağlanması,</li> <li>Uluslararası boyutta iş birliklerinin oluşturulması,</li> <li>Hidrojen üretim ve dolun istasyonlarının kurulması, yaygınlaştırılması ve böylece yakıt hücreli araç üreticileri için pazarın çekici hâle getirilmesi önemlidir.</li> </ul> </li> </ul>
12	Hidrojenin ve hidrojen teknolojilerinin ihracatı için hedef konulması	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ülkemizin hidrojen üretim potansiyeli ve hidrojen teknolojilerinde öne çıkabileceği alanlar belirlenerek, ihracat potansiyeli değerlendirilecektir. İhracat hedefleri doğrultusunda gerekli iş birlikleri kurularak hidrojen teknolojisinde kullanılacak sistem, ürün ve hizmetler için tasarım, üretim, çalışma, performans standartları ve hedefleri belirlenecektir.</li> </ul>
Sektörel Kullanım İhtiyaçları		
13	Yeşil hidrojenin; rafineri, kükürtsüzleştirme, amonyak/gübre, cam sanayi vb. tesislerinde kullanımının sağlanması	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yeşil hidrojeni kullanan tüm ana ve yan sektörler kadar kümeleşmenin sağlanması, üretim ve tüketim açısından önemli faydalar sağlayacaktır. Örneğin; yeşil hidrojen üretim merkezlerinin oluşturulması ile karbon yoğun sektörlerde anılan hidrojenin kullanılması sağlanacaktır. Kümeleşme sayesinde büyük kapasitelerde kurulacak elektrolizörler ile üretilen yeşil hidrojenin birim fiyatı düşürülerek fiyat avantajı ile ihtiyaç fazlası yeşil hidrojenin Avrupa’ya ihracatı mümkün olacaktır.</li> </ul>

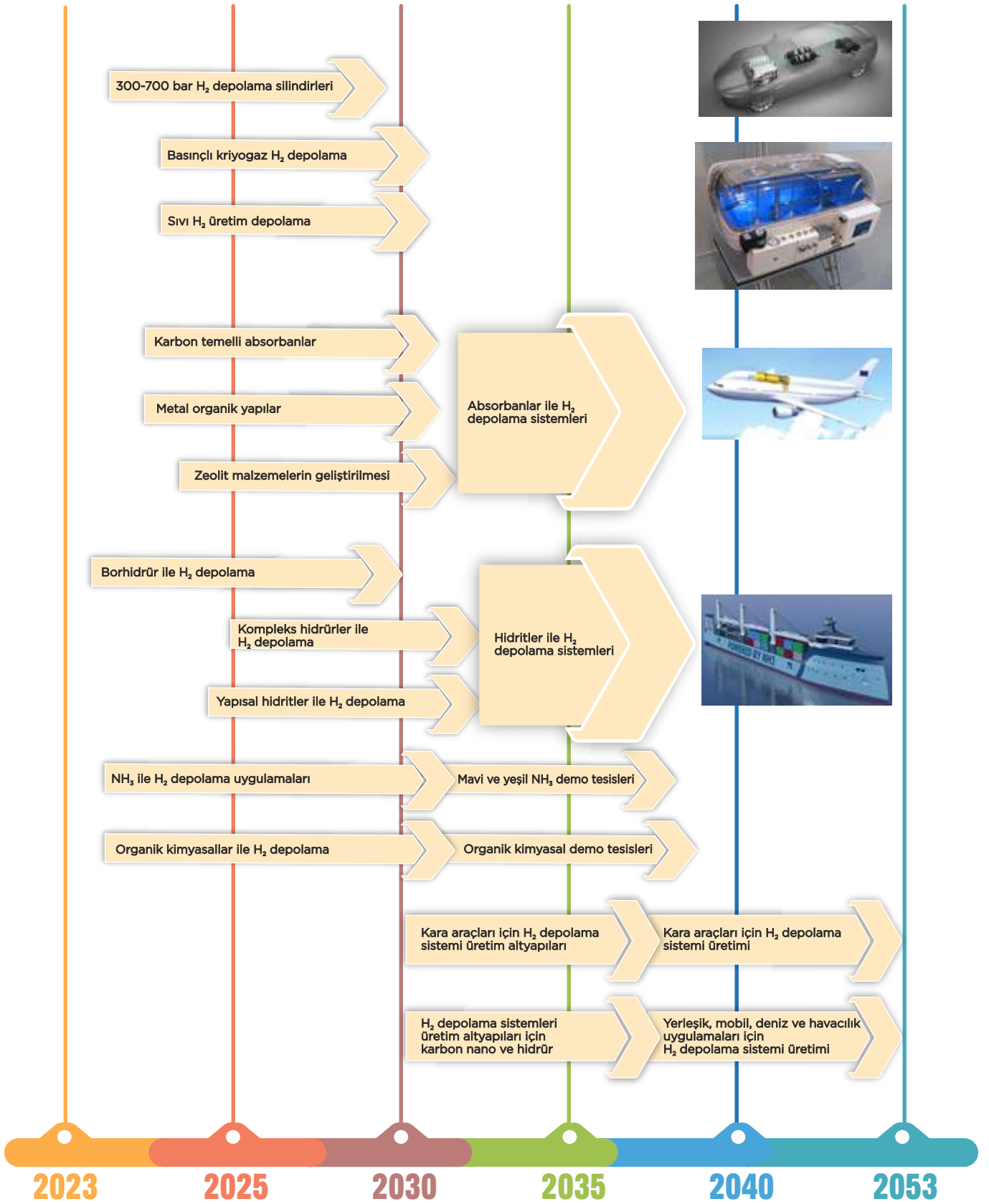
## Hidrojen Teknolojileri Kapsamında Ülkemizin İhtiyaçları ve Bu İhtiyaçlara Yönelik Teknolojik/Destekleyici Çözümler

No	İhtiyaçlar	Teknolojik/Destekleyici Çözümler
14	Karbon yoğun sanayi alanlarında fosil yakıtlar yerine yeşil hidrojene geçiş stratejisinin ve altyapısının oluşturulması	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ülkemizde karbonsuzlaştırılması öncelikli sektörlerin karbon ayak izlerinin ve karbonsuzlaştırma potansiyellerinin belirlenmesi gerekmektedir. Söz konusu sektörlerin karbonsuzlaştırılması bilhassa AB dışından yapılan karbon yoğun ithalata ilave yükümlülükler getirmeyi amaçlayan Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (CBAM-Carbon Border Adjustment Mechanism) çerçevesinde aciliyet kazanmıştır. Karbonsuzlaştırmanın önemli araçlarından biri de fosil yakıtlar yerine hidrojen kullanılmasıdır. Bu çerçevede AB düzenlemeleri açısından da öncelik arz eden sektörlerin envanterinin çıkarılması önemlidir. Bahse konu sektörlerin yeşil, mavi ve turkuaz hidrojen kullanmaları desteklenecektir.</li> </ul>
15	Savunma, havacılık ve uzay sektörlerinde yerli ve milli hidrojen teknolojilerinin geliştirilmesinde, önceliklendirilmesinde, desteklenmesinde ve uygulanmasında yaşanan eksikliklerin giderilmesi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yakıt hücresi alanında ülkemizin THS'si yüksektir. Farklı üniversitelerde yapılan çalışmalar genellikle tekli hücre düzeyinde ilerlemektedir. Savunma ve havacılık alanlarında ihtiyaca yönelik ürünleri hedefleyecek şekilde Ar-Ge proje çağrıları yapıldığında, bu alanlarda yerli ve milli hidrojen teknolojilerinin geliştirilmesi, önemsenmesi, önceliklendirilmesi sağlanabilecek ve iş birlikleri açısından motivasyon oluşturulabilecektir.</li> <li>Sıvı hidrojen ve sıvı oksijen üretimi, depolanması, yanma teknolojileri kullanan fırlatıcıların ve yakıt hücresi uygulamaları çalışmalarının öncelikli projeler ile desteklenmesi bu alanda yetkinlik kazanılmasını sağlayacaktır.</li> </ul>
<b>Teknolojik Olmayan İhtiyaçlar</b>		
16	Hidrojen değer zinciri ile ilgili (üretim, depolama, iletim, dağıtım ve kullanım) hedef odaklı planlamaların oluşturulması; doğrudan ilgili kurumların, farklı sektör kümeleşmelerinin ve piyasa temelli mekanizmaların oluşturulması	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ülkemizde hidrojen teknolojilerinin yaygınlaşması ve gelişmesi için sağlanacak destekler kritik öneme sahiptir. Bu desteklerin teknolojinin gelişmesi ve yaygınlaşmasının önünü açacak alanlarda kullanımı gerekmektedir. Bu destekler; <ul style="list-style-type: none"> <li>► Hidrojene hâlihazırda kapsamlı olarak kullanan sektörlerin yeşil hidrojene geçişini,</li> <li>► Yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrojen üretimini,</li> <li>► 2053 karbonsuzlaşma hedeflerine uyumlu hidrojene geçişi ve yaygınlaşmasını,</li> <li>► Yerli ve milli hidrojen teknolojilerinin (elektrolizör ve yakıt hücreleri vb.) iletim, depolama ve kullanımı için malzeme ve ekipmanlarının geliştirilmesini sağlayacaktır.</li> </ul> </li> </ul>
17	Üniversite, kamu ve özel sektör araştırma merkezlerindeki hidrojen teknolojileri ile ilgili mevcut altyapıların (laboratuvar, test sistemleri vb.) iyileştirilmesi, iş birliği ve koordinasyon sağlanması	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hidrojen teknolojilerinde ihtiyaç duyulan alanlarda yüksek lisans ve doktora programları açılması durumunda, söz konusu programlarda yetiştirilen öğrenciler ile nitelikli araştırmacı ihtiyacı karşılanacaktır.</li> </ul>
18	Hidrojen teknolojileri ve ilgili disiplinlerde nitelikli araştırmacı sayısının artırılması ve istihdamda sürekliliğin sağlanması	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ülkemizin mevcut ve geliştirilen teknolojileri takip için daha fazla yetişmiş elemanın istihdamının sağlanması hedeflenmektedir. Hidrojen teknolojileri konularında; <ul style="list-style-type: none"> <li>► Ülkemizde yetiştirilen yüksek lisans ve doktora öğrencilerinin sanayide istihdamı için sanayi iş birlikleri oluşturulacaktır.</li> <li>► Doktora tezlerinin, ürüne dönüşümü teşvik edilecek ve ticarileşme için gerekli sanayi iş birlikleri kurulacaktır.</li> </ul> </li> </ul>
19	Uluslararası iş birlikleri yapılması	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ülkemiz önemli bir jeopolitik konuma sahiptir. Hidrojene geçiş sürecinde, Avrupa ve Asya ülkeleri arasında hidrojen üretimi, taşınması, ihracatı ve kullanılmasında iş birliklerinin yapılması, hidrojen teknolojilerinin hızla yaygınlaşmasına önemli katkı sağlayacaktır. Hidrojenin üretimden iletim ve pazarlanmasına kadar her alanda ülkelerle iş birliği geliştirilecektir.</li> </ul>
20	Hidrojen teknolojilerinde; güvenlik, hukuksal düzenlemeler ve toplumsal farkındalık konuları kapsamında çalışmalar yapılması	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hidrojen teknolojilerine yönelik yapılacak çalıştaylar, bildirimler, televizyon programları ve eğitimler ile toplumun her kesimi bilgilendirilecektir. Teknolojinin kullanılmaya başlanması için gerekli bilgilendirmeler ile toplumda farkındalık oluşturulacaktır. Toplumsal bilinirliğin sağlanması için "tanıtım gösterisi" projeleri yaptırılarak toplumun hidrojen teknolojilerini öğrenmesi sağlanacaktır.</li> </ul>

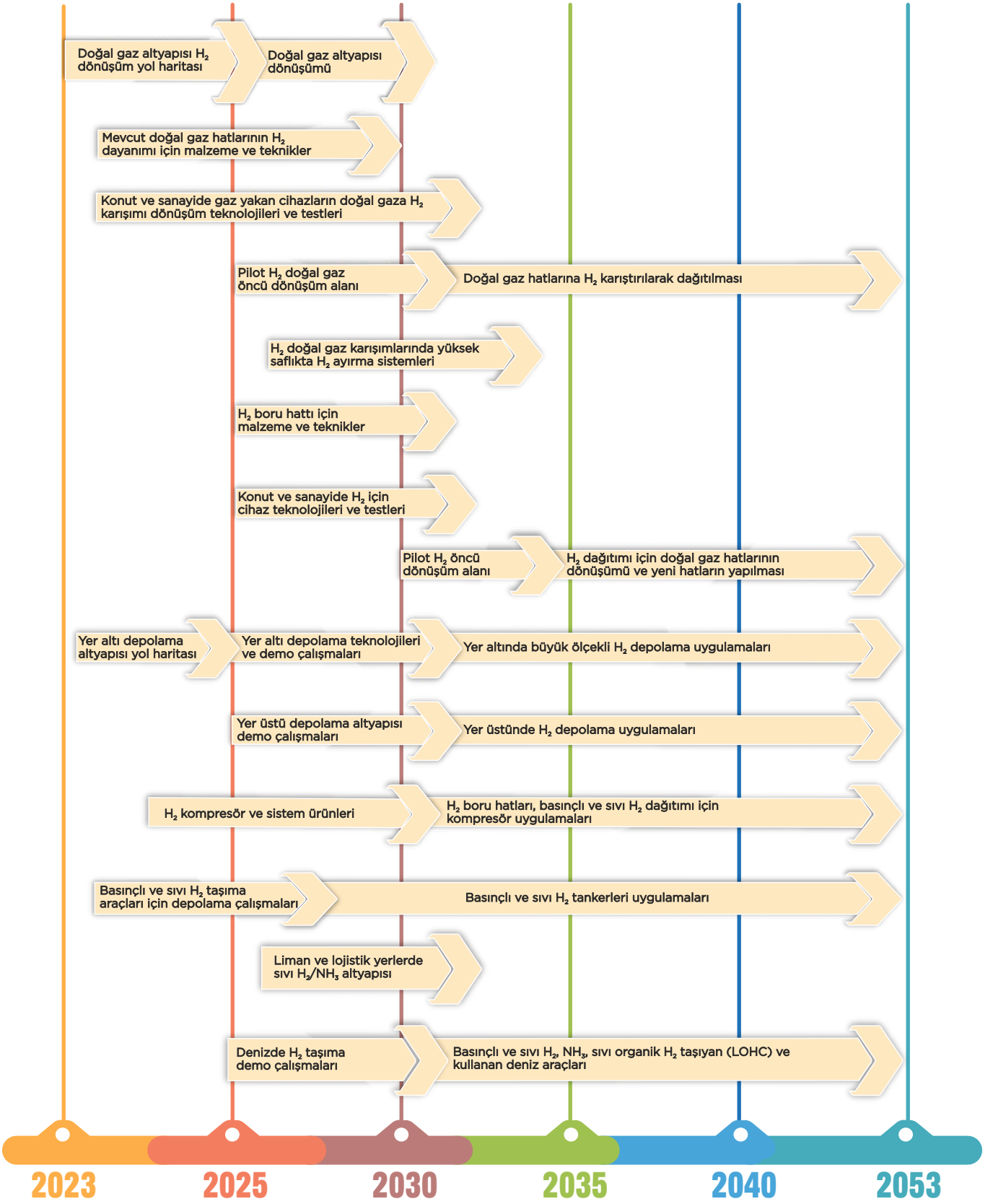


Şekil 3. Hidrojen üretim teknolojileri yol haritası

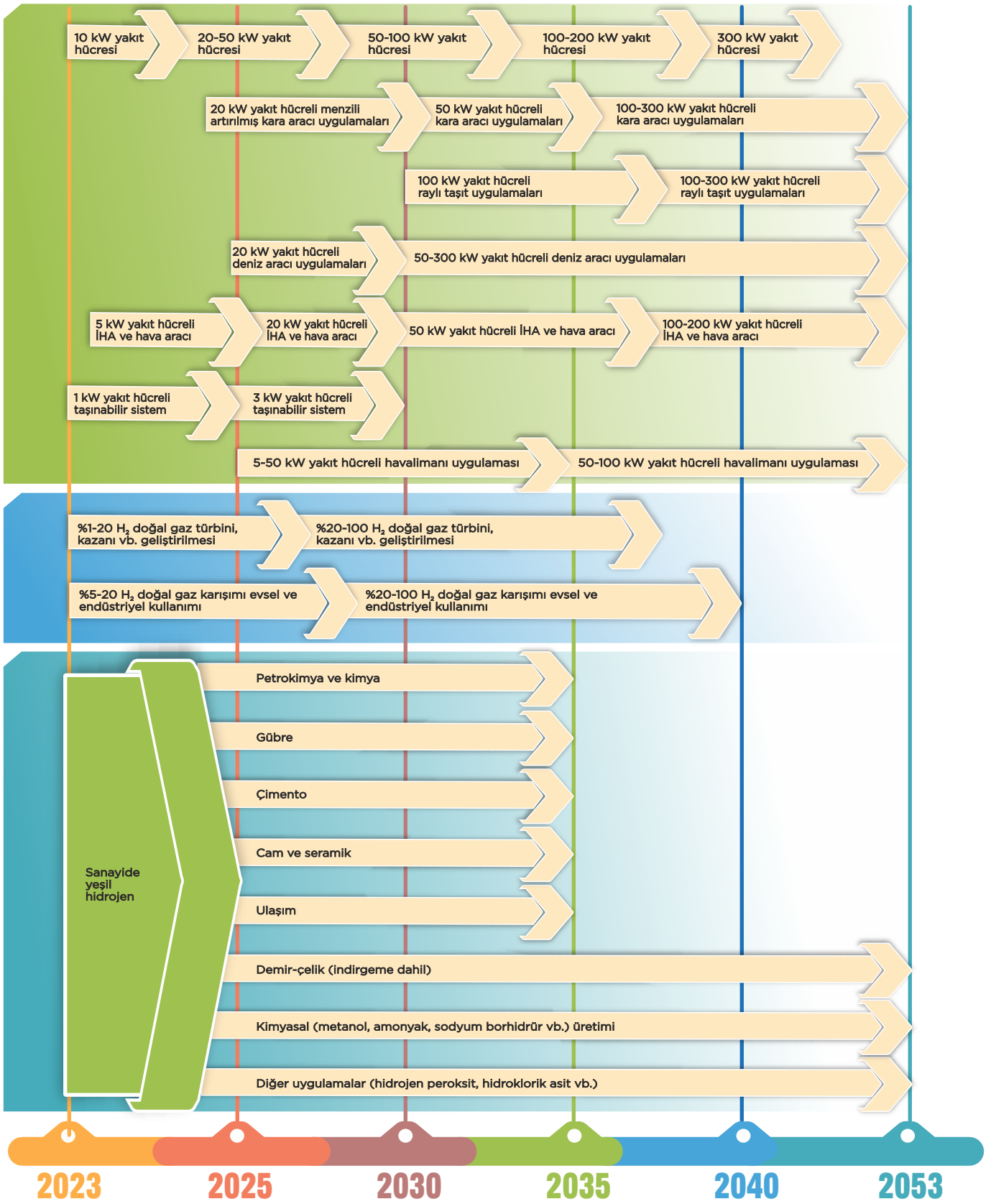




Şekil 4. Hidrojen depolama teknolojileri yol haritası



Şekil 5. Hidrojen dağıtım teknolojileri yol haritası



Şekil 6. Hidrojen kullanım teknolojileri yol haritası

## SONUÇ, HEDEFLER VE POLİTİKALAR

Hidrojenin potansiyel olarak kritik rolü dünya çapında artmaktadır. Hidrojenin geleceğine yön verecek strateji belgeleri ve yönetmelik çalışmaları artarak devam etmektedir. Hidrojenin üretilmesinden son kullanımına kadar devam eden tüm süreçleri kapsayan değer zincirindeki mevcut boşluklar üzerinde çalışılmaktadır. Özellikle net sıfır emisyonu ulaşılmadığı önemli argümanlardan biri olan hidrojenin hayatımıza büyük bir değer katacağı bilinmektedir.

Hidrojen teknolojileri konusunda tüm paydaşlarla birlikte ulusal ve yerel yönetimler arasında bilgi alışverişi için forumların oluşturulması büyük önem arz etmektedir. Söz konusu teknolojiler, ekosistemde bulunan birçok oyuncuyu ilgilendirdiğinden, konu hakkında tüm paydaşların dahil edilerek bilgilendirilmesi ve kapsayıcı çalışmaların yapılması önemlidir. Hidrojen alt yapısının; mevzuat ile belirlenecek düzenlemeleri uygulayacak, teknoloji geliştirecek ve geliştirilmesine fon sağlayacak, depolama ve dağıtım sorumluluğunu taşıyacak tüm oyuncuların etkili iletişim içinde bulunarak başarılı bir şekilde oluşturulabileceği değerlendirilmektedir.

Ülkemizde yerli bir yeşil hidrojen piyasasının gelişmesi için mevcut mevzuat uygun hâle getirilerek hidrojen elde edilecek enerji ile ilgili gelecek öngörüsü ile birlikte net bir şekilde oluşturulması ve yeşil hidrojenin üretim, dağıtım, depolama ve son kullanım süreçleri hususunda uluslararası standartlarla uyumlu teknik standartların geliştirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, önümüzdeki yıllarda hidrojen teknolojilerinin gerekli seviyelerde etkin bir şekilde benimsenmesini sağlamak için yürütülecek çalışmaların sinerjik bir yapıda sürdürülmesi gerekmektedir. Rapordaki politikaların başarısı, yeni hidrojen teknolojilerini uygulamaya hazır ve yetenekli bir işgücü yaratmak için eğitim programlarının geliştirilmesine de bağlı olacaktır.

Dünyada yapılan çalışmalar ile ülkemizin ihtiyaç ve çözüm önerileri değerlendirilerek hazırlanan hedefler ve politikalar aşağıda sunulmuştur.



## HEDEFLER

- 1 Yeşil hidrojen üretim maliyetini 2035 yılında 2,4 ABD doları/kgH<sub>2</sub> ve 2053'e kadar 1,2 ABD doları/kgH<sub>2</sub> altına düşürmek,
- 2 Elektrolizör kurulu güç kapasitesinin 2030 yılında 2 GW, 2035 yılında 5 GW ve 2053 yılında 70 GW'a ulaşmasını sağlamaktır.

## POLİTİKALAR

- 1 Mevcut mevzuatı gözden geçirerek "hidrojen üretim, taşıma, depolama ve kullanım" için uygun hâle getirmek,
- 2 Yeşil hidrojen üretiminde ve depolanmasında yerli aksam kullanılmasına yönelik teşvik mekanizması oluşturmak,
- 3 "Yeşil hidrojen" için sertifika programları oluşturmak ve bu programların izlenebilirliğini sağlamak,
- 4 Yerli ve millî teknolojilerin (elektrolizör, yakıt hücresi vb.) geliştirilerek üretilmesi için Ar-Ge ve Ür-Ge'yi teşvik etmek,
- 5 Ticari talep ve yatırımları teşvik etmek için kamu ve özel sektör iş birlikleri oluşturmak,
- 6 Sanayi, teknoloji, standartlar ve sertifikasyon geliştirme, tedarik zinciri ve ticaret fırsatları ile ilgili konularda uluslararası iş birliği yapmak,
- 7 Karbon salımının azaltılması zor olan sektörler (kimya, demir-çelik, ulaşım, cam, seramik vb.) öncelikli olmak üzere ilgili tüm sektörlerde yeşil hidrojenin kullanımının yaygınlaştırılmasını teşvik etmek,
- 8 Hidrojen teknolojileri konusunda nitelikli insan gücü yetiştirerek, istihdamda sürekliliği sağlamak,
- 9 Linyit ve organik atıklardan hidrojen ve sentetik gaz üretimi için Ar-Ge çalışmaları yapmak,
- 10 Yeşil hidrojen üretimini artırmak için yenilenebilir enerjinin üretim ve kullanım payını yükseltmek,
- 11 Mevcut doğal gaz hatlarına hidrojen karıştırılmasıyla ısı sektörünün kademeli olarak karbonsuzlaşma dönüşümüne katkı sağlamak,
- 12 Hidrojen depolamada başta bor madeni olmak üzere yerli kaynakları kullanmak,
- 13 Dünya ve özellikle Avrupa pazarına yerli teknolojilerimiz ile ihtiyaç fazlası yeşil hidrojen veya amonyak ihraç etmektir.



**T.C. ENERJİ VE TABİİ  
KAYNAKLAR BAKANLIĞI**