



ENERJİ KRİZİNİN ÇÖZÜMÜNDE YEŞİL HİDROJEN DEVRİMİ III: Türkiye’de Yeşil Hidrojen Araştırmaları ve Politikaları



İşbu eserde yer alan veriler/bilgiler, yalnızca bilgi amaçlı olup, bu eserde bulunan veriler/bilgiler tavsiye, reklam ya da iş geliştirme amacına yönelik değildir. STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. işbu eserde sunulan verilerin/bilgilerin içeriği, güncelliği ya da doğruluğu konusunda herhangi bir taahhüde girmemekte, kullanıcı veya üçüncü kişilerin bu eserde yer alan verilere/bilgilere dayanarak gerçekleştirecekleri eylemlerden ötürü sorumluluk kabul etmemektedir. Bu eserde yer alan bilgilerin her türlü hakkı STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.'ye aittir. Yazılı izin olmaksızın işbu eserde yer alan bilgi, yazı, ifadenin bir kısmı veya tamamı, herhangi bir ortamda hiçbir şekilde yayımlanamaz, çoğaltılamaz, işlenemez.

 STM ThinkTech

1. GİRİŞ

Dünyada küresel iklim değişikliği ile mücadele kapsamında yaşanan enerji dönüşümü ve özellikle Rusya Ukrayna Savaşı'yla beraber artan enerji arz güvenliğine yönelik kaygılar nedeniyle, yenilenebilir enerjiye oldukça hızlı bir yönelim söz konusudur. Bu çerçevede geleceğin enerji taşıyıcısı olarak görülen yeşil hidrojene yönelik yatırım ve beklentiler ciddi şekilde artmaktadır.

Fosil kaynaklarda dışa bağımlılığı nedeniyle yüklü bir enerji faturası ödeyen Türkiye de enerji arz güvenliğini sağlama ve yenilenebilir enerji hedefleri doğrultusunda son dönemde yeşil hidrojen konusunu önceliklendirmeye başlamıştır. Türkiye güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarında son dönemde gösterdiği başarılı performansla dikkat çeken bir ivme yakalamıştır. Bu başarı, küresel olarak da yeni yeni filizlenmekte olan yeşil hidrojen üretimi konusunda Türkiye'ye önemli avantajlar sağlamaktadır. Çok sayıda uzmana göre dünyada yaşanan yeşil hidrojen atılımı Türkiye için tarihi bir fırsat anlamına gelmektedir. Bu fırsatın katma değere dönüştürülmesi için de kamudan akademiye, özel sektörden STK'lara kadar pek çok paydaşın rol alacağı bir yeşil hidrojen ekosisteminin hayata geçirilmesi gerekmektedir.

"Enerji Krizinin Çözümünde Yeşil Hidrojen Devrimi" konulu Araştırma Dizimizin üçüncü ve son bölümünde, yeşil hidrojen konusunda Türkiye'nin mevcut durumu, kamunun yeşil hidrojene yönelik destek ve yönlendirmeleri, Türkiye'de yapılan yeşil hidrojen yatırım ve araştırmaları, bu alanda öne çıkan şirket ve kurumlar ile projeler incelenmiştir.

2. TÜRKİYE'NİN YEŞİL HİDROJEN EKONOMİSİ VE POTANSİYELİ

Türkiye'de günümüzde anlamlı bir yeşil hidrojen üretimi henüz mevcut değildir. Ancak çok sayıda kurum ve uzmanın analizleri, güçlü yenilenebilir enerji kaynağı imkânlarının sağlayacağı avantaj sayesinde Türkiye için orta vadede oldukça yüksek bir potansiyele işaret etmektedir. Kamu yönetimi de yeşil hidrojen konusunda Türkiye'nin dünyanın önde gelen ülkeleri arasında yer alabilmesi için girişimlerini başlatmıştır. Geleceğin enerjisi yeşil hidrojenle söz sahibi olmak için bugünden pozisyon almaya çalışan diğer tüm ülkelere paralel olarak Türkiye de yeşil hidrojene yönelik planlamalarını 2030 ve 2050 yıllarını baz alarak yapmaktadır. Çeşitli kuruluşların gelecek projeksiyonları, bu yıllara kadar gerekli adımların atılması hâlinde Türkiye'de önemli bir yeşil hidrojen üretim ve talebinin oluşabileceğini ve hatta Türkiye'nin yeşil hidrojenle kendi ihtiyaçlarını karşıladıktan sonra enerji ihracatçısı konumuna gelebileceğini öngörmektedir.

2.1 Türkiye'nin Potansiyel Yeşil Hidrojen Talebi

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezinin, Bilkent Enerji Politikaları Araştırma Merkezi ve Alman Enerji Ajansı işbirliği ile hazırladığı "Türkiye'nin Yeşil Hidrojen Üretim ve İhracat Potansiyelinin Teknik ve Ekonomik Açından Değerlendirilmesi" raporuna göre, imalat sanayii, doğalgaz ve ulaştırma sektörlerinde fosil yakıtların sadece yüzde 10'unun yeşil hidrojenle ikame edilmesiyle, 2050 yılında Türkiye'de yıllık 1,9 milyon ton yeşil hidrojen yurtiçi talebi oluşabileceği tahmin edilmektedir. Rapora göre, ulaştırma sektörü 2050'ye kadar yurtiçi talebin yarısını

oluşturacak, bu süre içinde hidrojen talebinin dörtte biri sanayide (yüzde 16'lık pay ile büyük bölümü demir çelik sektörüne ait olmak üzere), geriye kalan kısım ise yeşil hidrojeninin doğalgaz şebekesine karıştırılması yoluyla kullanılacaktır.

Çalışmada ele alınan referans senaryoya göre 2020'de 44 GW olan güneş, rüzgâr ve hidroelektrik kurulu güç kapasitesinin 2050 yılında 129 GW'a yükseleceği öngörülmektedir. Bu kaynaklardan sağlanan 290 TWh toplam yıllık elektrik üretimi, 2050'de tahmin edilen ülke çapındaki 545 TWh'lık net elektrik talebinin yüzde 53'ünü karşılayabilecektir. Güneş ve rüzgâr enerjisi için öngörülen teknik kapasitelerinin kullanıldığı 'Gelişmiş Senaryo' için ek 45 GW'lık potansiyelin kullanılması hâlinde, yıllık 124,4 TWh ilave elektrik üretimi gerçekleştirilebilecektir. Bu ilave kapasiteyle yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam üretimi, 2050'deki toplam net elektrik talebinin yüzde 84'ünü karşılayabilecektir 2030-2050 yıllarını kapsayan dönemde, il seviyesinde talep düşüldükten sonra, yenilenebilir enerjiden elde edilen toplam üretim fazlası elektrik ise yıllık 50-55 TWh'a ulaşacaktır^[1].

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezinin "Türkiye'nin Ulusal Hidrojen Stratejisi İçin Öncelik Alanları" başlıklı raporunda ise Türkiye'nin yeşil enerji talep potansiyeliyle ilgili bir tahmine yer verilmektedir. Buna göre, toplam enerji talebini karşılayan fosil yakıtların yüzde 5 ila yüzde 15 arasındaki payını ikame etme yönünde genel bir varsayımda bulunulacak olunursa, Türkiye'nin mevcut toplam nihai enerji tüketiminin yaklaşık yüzde

5'ine denk gelen, yılda yaklaşık 4,6 Mtep (milyon ton eşdeğeri petrol)'lük bir yeşil hidrojen potansiyeli ortaya çıkmaktadır. Bu da toplam 12,1 GW'lık bir elektrolizör kapasitesiyle karşılanabilir (yüzde 75 kapasite kullanım faktörü ve yüzde 60-75 arasında hidrojen üretim verimliliği varsayılarak). Bu potansiyelin kullanılması için ise yılda 1,6 milyon ton yeşil hidrojen ve 80 milyar kWh elektrik üretimi gerekmektedir. 12,1 GW'lık elektrolizör kapasitesi için gerekli yatırım, 750 dolar/kW'lık sermaye maliyeti ile 9,1 milyar dolar olarak tahmin edilmektedir. Rapordan edinilen rakamlara göre Türkiye'nin sektörlere göre yeşil hidrojen potansiyeli Tablo 1'de sunulmuştur^[2].

2.2 Türkiye'de Yeşil Hidrojen Üretimi ve Maliyetler

Küresel olarak yıllık hidrojen üretim kapasitesinin 2030'a kadar 111 milyon tonu aşacağı ve yeşil hidrojenin 60,6 milyar dolarlık bir piyasa değerine ulaşması beklenmektedir^[3].

Çeşitli kurumların analizleri Türkiye'nin bu büyük pastadan pay almanın ötesine geçme ihtimali olduğuna işaret etmektedir. Türkiye'de gerekli adımların atılması hâlinde özellikle 2050'lerde ciddi miktarda yeşil hidrojen üretimi gerçekleştirilebileceği öngörülmektedir. SHURA Enerji Dönüşümü Merkezinin "Türkiye'nin Yeşil Hidrojen Üretim ve İhracat Potansiyelinin Teknik ve Ekonomik Açından Değerlendirilmesi" raporuna göre Türkiye, uygun yatırımlar ve politikalarla 2050'de yıllık 3,4 milyon tona kadar yeşil hidrojen üretimine ulaşabilecektir^[1].

	İkame potansiyeli	Toplam hidrojen talebi (ktoe/yıl)	Toplam kurulu elektrolizör kapasitesi (GW)	Toplam yenilenebilir enerji kurulu güç kapasitesi (GW)	Toplam yatırım ihtiyacı (milyar ABD\$)
Demir-çelik 1	DRI ile entegre tüm EAF'nin %5'i (ek talep)	405	1,1	3,2	4,0
Kimya ve petrokimya 2	Yakıtların %15 sentetik metan ile ikame edilmesi	500	1,3	4,0	5,0
Plastik işleme 2	Yakıtların %15 sentetik metan ile ikame edilmesi	40	0,1	0,3	0,4
Çimento 2	Yakıtların %15 elektrikten yakıt elde edilmesi ile ikame edilmesi	1200	3,2	9,5	11,9
Karayolu taşımacılığı, havacılık, denizcilik 2	Yakıtların %15 elektrikten yakıt elde edilmesi ile ikame edilmesi	1785	4,7	14,2	17,7
Gaz sektörü 3	Gaz şebekesine %5 enjeksiyon	645	1,7	5,1	6,4
Toplam	-	4.570	12,1	36,3	45,4

1) 1 ton sıcak haddelenmiş sac 1,2 ton DRI gerektirir (Muscolino et al. 2016). Bir ton DRI için 3400 kWh hidrojen gerekmektedir. (Gielen et al. 2020)

2) İkame potansiyelinde sırasıyla Saygin ve Gielen (yakında çıkacak) ve IEA esas alınmaktadır. Ulaştırmanın ikame potansiyelinin ise diğer sektörlerle uyumlu olacağı varsayılmış olup, tüm karayolu taşımacılığının enerjisinin %30'unun yük taşımacılığı için kullanıldığı varsayılmıştır. 1 GJ e-yakıt/metan üretimi için 1,87 GJ elektrik gerekmektedir (Agora Verkehrswende, Agora Energiewende & Frontier Economics, 2018)

3) Doğal gaz ve hidrojen alt ısı değerleri metre küp başına sırasıyla 35,8 ve 10,8 megajul olarak varsayılmıştır.

Tablo 1: Türkiye'nin sektörlere göre yeşil hidrojen potansiyeli^[2].

Rapor Türkiye'nin il seviyesinde yeşil hidrojen üretimini üç ana senaryo çerçevesinde değerlendirmektedir. Türkiye'de il seviyesinde yenilenebilir enerji üretim fazlasından yeşil hidrojen üretiminin incelendiği "Dağıtık Senaryo 1/A"ya göre, 2050'de bölgesel yenilenebilir enerji üretim fazlasından yıllık 0,6 milyon ton hidrojen üretilebilir. Bu üretim için ise 6,6 GW elektrolizör kapasitesinin gerekli olduğu hesaplanmıştır.

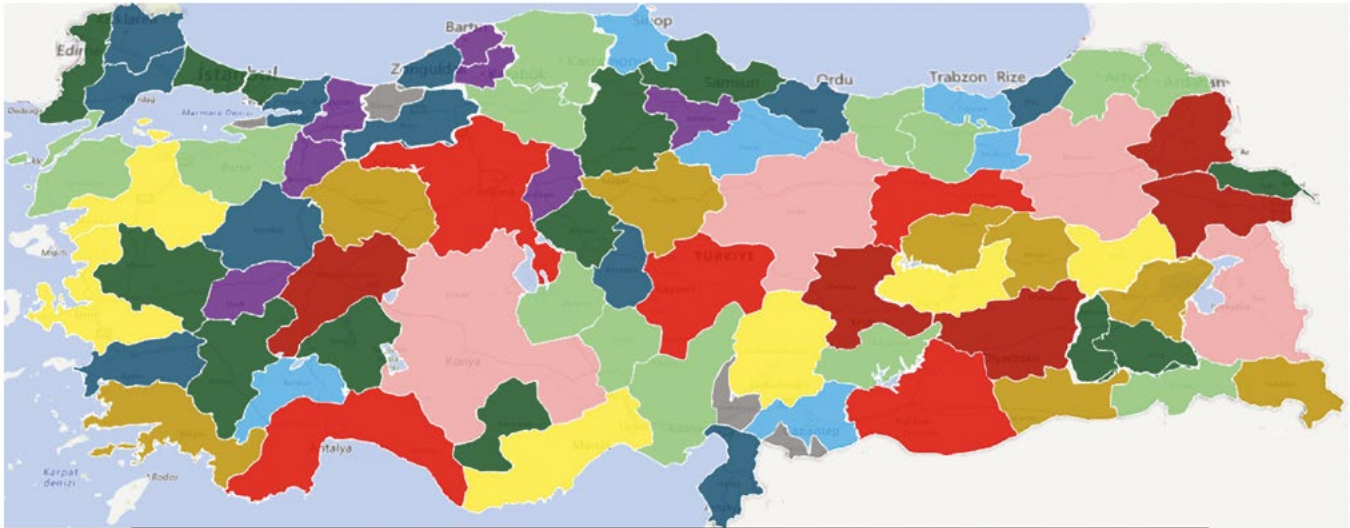
İl seviyesinde güneş ve rüzgârın teknik potansiyelini kullanan yenilenebilir enerji santrallerinin yanında yeşil hidrojen üretiminin analiz edildiği "Dağıtık Senaryo 1/B"ye göre ise, yeşil hidrojenin tüketim noktalarına taşınması veya ticaretinin yapılabilmesi için özel hidrojen boru hatları gerekebilecektir. Rüzgâr ve güneş enerjisinin teknik potansiyeli kullanılarak, 2050'de Dağıtık Senaryo 1/A'ya ilave olarak yılda 2,8 milyon ton yeşil hidrojen üretilebilir. Ayrıca Dağıtık Senaryo 1/A'ya ilave olarak 28,7 GW elektrolizör kapasitesine ihtiyaç duyulacaktır.

Çalışmada ele alınan "Merkezi Senaryo" ise güneş ve rüzgârın teknik potansiyelleri ile üretilen yenilenebilir enerji üretim fazlasının, yeşil hidrojen üretmek üzere belirlenmiş illerin yer aldığı altı bölgeye aktarılmasını içermektedir. Bu kapsamda Adana, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Kilis, Mersin ve Osmaniye birinci bölge, Antalya ikinci bölge; Aydın, İzmir, Manisa ve Muğla üçüncü bölge; Balıkesir, Çanakkale ve Edirne dördüncü bölge; Bursa, İstanbul, Kocaeli, Sakarya ve Yalova beşinci bölge; Ardahan ve Artvin ise altıncı bölge olarak

ele alınmaktadır. Bu senaryoda, ülke çapındaki yenilenebilir enerji üretim tesislerinden elde edilen elektriğin bu merkezlere aktarımı için ek elektrik şebeke yatırımlarının yapılması öngörülmektedir.

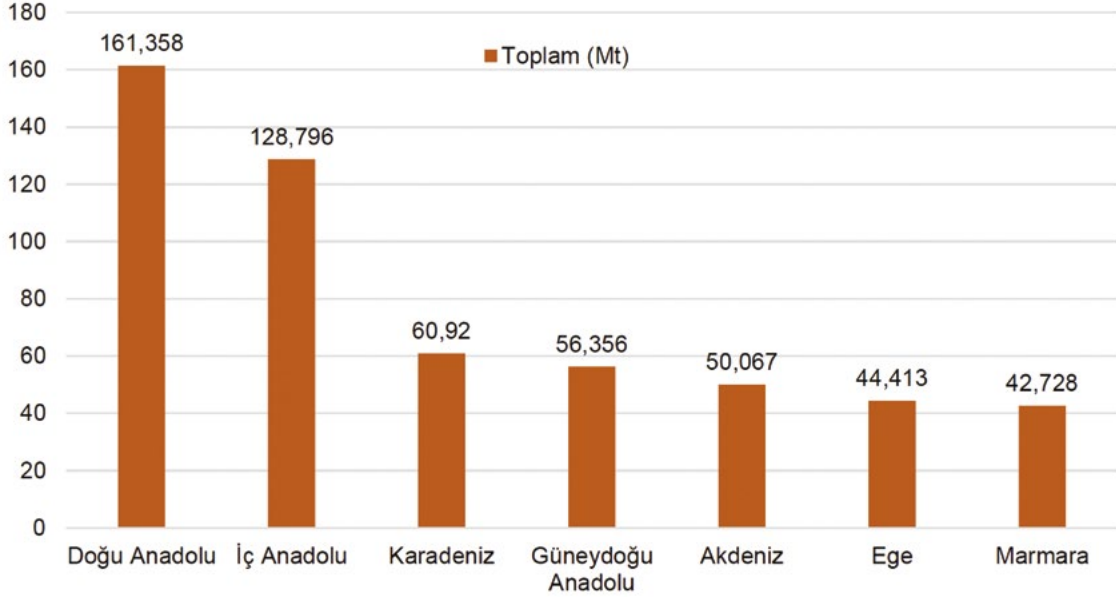
Öngörülen yüksek potansiyelli yeşil hidrojen talep ve üretim miktarları, Türkiye'de yeşil hidrojene odaklanılabilecek şehir ve bölgelerin de şimdiden belirlenmesi konusunu önemli hâle getirmektedir. Bu çerçevede Türkiye'nin illere göre hidrojen üretimi potansiyeline ilişkin bir çalışma, Hidrojen Teknolojileri Derneğinin "Türkiye İçin Hidrojen Çiftliği Konsepti" adlı raporunda sunulmuştur. Türkiye'nin yedi bölgesini içeren bir çalışmayla, güneş, rüzgâr, jeotermal, hidroelektrik, akıntı ve biyokütle gibi farklı kaynak ve potansiyellerin değerlendirildiği bu çalışmaya göre, tüm şehirlerin kendi elektrik ihtiyaçları düşüldükten sonra yeşil hidrojen üretimi için kalan elektrik enerjisi baz alınarak illerin hidrojen üretimi potansiyeli hesaplanmıştır. Buna göre Türkiye'nin toplam hidrojen üretimi potansiyeli 539,92 milyon ton olarak hesaplanırken, Erzurum, Konya, Van ve Sivas hidrojen üretimi için en yüksek potansiyele sahip ilk dört şehir olarak belirlenmiştir (Şekil 1)^[4].

Bölgesel olarak incelendiğinde ise hidrojen üretme potansiyelinin 161,358 milyon ton ile en çok Doğu Anadolu Bölgesi'nde olduğu görülmektedir. Genel olarak engebeli bir yapıya sahip olmasına rağmen yıllık güneş radyasyonu oranının diğer bölgelere göre daha yüksek olması bu bölgeyi hidrojen üretiminde lider konumuna oturtmaktadır.



Renk	Toplam Hidrojen Üretim Potansiyeli (Mt)	Renk	Toplam Hidrojen Üretim Potansiyeli (Mt)
Black	0'dan 0,212'ye kadar	Green	4,974'ten 6,545'e kadar
Grey	0,212'den 1,024'e kadar	Brown	6,545'ten 7,919'a kadar
Purple	1,024'ten 2,049'a kadar	Yellow	7,919'dan 9,595'e kadar
Dark Blue	2,049'dan 3,248'e kadar	Red	9,595'ten 11,968'e kadar
Light Blue	3,248'den 3,736'ya kadar	Pink	11,968'den 15,22'ye kadar
Dark Green	3,736'dan 4,974'e kadar	Light Pink	15,22'den 28,627'ye kadar

Şekil 1: Türkiye'nin elektrik ihtiyacı karşılandıktan sonra hidrojen üretim potansiyeli^[4].



Şekil 2: Yedi coğrafi bölgenin yıllık toplam hidrojen üretim potansiyeli^[4].

Hidrojen Teknolojileri Derneği Başkanı Prof. Dr. İbrahim Dinçer, 500 milyon tonun üzerindeki yeşil hidrojen üretim imkânının Türkiye'nin hidrojen üretiminde dünyada ilk beş ülke arasına girebileceğini gösterdiğine dikkat çekmektedir^[5].

2.3 Yeşil Hidrojen Yatırımları

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi, öngördüğü toplam 3,4 milyon ton yeşil hidrojen üretimi için 2050 yılına kadar yıllık 3 ila 4 milyar dolar arası yatırım gerektiğini hesaplamaktadır. Rapor kapsamındaki teknik ve ekonomik değerlendirmeye göre, rüzgâr ve güneş kaynaklı elektrik kullanan Alkalın ve PEM elektrolizör teknolojileri için yeşil hidrojen üretim maliyetlerinin 2050'ye kadar kilogram başına 4,14 ila 5,17 dolardan, 1,38 ila 2,46 dolara kadar düşebileceği tahmin edilmektedir. Hidrojenin yurtiçi kullanımı ve ihracatını sağlamak amacıyla toplam yatırım hacminin 85 ila 119 milyar dolar olacağı hesaplanmaktadır^[1].

3. TÜRKİYE'DE YEŞİL HİDROJEN POLİTİKALARI

3.1 Türkiye'nin Yeşil Hidrojene Geçişi Doğrultusunda Yapılan Mevzuat Değişiklikleri

Türkiye enerji alanında, 2017 yılında benimsenen arz güvenliği, yerleşme ve öngörülebilir piyasalar yaklaşımları üzerine inşa edilen "Millî Enerji ve Maden Politikası" ile yerli ve yenilenebilir enerjiyi gündemine alarak, enerjide sürdürülebilirliği ana önceliklerinden biri hâline getirmiştir. Böylece, sürdürülebilir bir anlayışla daha verimli, çevreye duyarlı, güvenli ve yerli teknolojileri kullanarak yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji portföyündeki payını artırmak ve enerjide ithalat maliyetlerini azaltmak öncelikli hedef olarak kabul görmüştür.

Türkiye'de hidrojen ilk kez 2 Mayıs 2007 tarihinde Resmi Gazete'de yayınlanan "Enerji Verimliliği Kanunu" ile, kullanımı özendirilmesi gereken alternatif bir yakıt olarak resmi belgelere girmiştir. 2011 yılında ise hidrojen yakıtlı araçlara ilişkin bir yönetmelik çıkarılmıştır. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından hazırlanan ve projelerinde fosil enerji kaynaklarına alternatif olarak teşvik edilecek temiz enerji yakıtları arasında hidrojeni de içeren "Ulaştırma Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik" ise 2 Mayıs 2019 tarihinde yayınlanmıştır^[6].

15 Ocak 2020 tarihinde ise Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının (ETKB) düzenlediği "Enerjide Arama Buluşmaları: Hidrojen" konferansı ile hidrojenin dört ana fayda üzerinden elde edileceği belirtilmiştir^[7]. Bunlar:

- Daha fazla yenilenebilir enerjiyi sisteme dahil etmek,
- Isı sektörünü karbon emisjonsuz hâle getirmek,
- Yerli kömürden karbon 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, doğalgaz dağıtım hatlarına yüzde 2-6 oranında hidrojen karıştırılmasının yöntemlerden biri olduğu ifade edilmiştir.

Ülkemizin, hidrojen teknolojileri alanında kendi kendine yetecek ve hidrojen teknolojileri ihracatı gerçekleştirerek rekabetçi bir konuma ulaşmasını sağlayacak, enerji arz güvenliğini ve çeşitliliğini temin edecek politika ve eylem önerileri oluşturmak amacıyla "Hidrojen Teknolojileri Politika Önerileri Raporu", T.C. Cumhurbaşkanlığı

Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Kurulu tarafından Mayıs 2021’de hazırlanmıştır.

2021 yılının Ekim ayında Paris Anlaşmasının Resmi Gazete’de yayınlanmasıyla Türk enerji politikalarında iklim odağı belirginleşmiştir. Enerji Bakanlığı tarafından yayınlanan “Türkiye Ulusal Enerji Planı” ile 2053 net sıfır emisyon hedefi esas alınarak 2035 yılına kadar enerji sektöründe ülkemiz hedefleri belirlenmiştir.

25 Şubat 2022 tarihinde yayınlanan “İklim Şurası Komisyon Tavsiye Kararları”nda hidrojenin üretimi, depolanması ve kullanımı teknolojilerinin geliştirilmesi ile Hidrojen Stratejisi ve Yol Haritası’nın hazırlanması hususlarına yer verilmiştir.

4 Eylül 2022 tarihli ve 31943 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan “Orta Vadeli Program (2023-2025)”da, 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.

3.1.1 Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası

2023’ün Ocak ayında ETKB tarafından “Türkiye Ulusal Enerji Planı 2022”^[6] ve “Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası” yayınlanmıştır^[6].

2053 net sıfır emisyon hedeflerine ulaşma doğrultusunda Türkiye Ulusal Enerji Planı’nda emisyon azaltımını sağlamak amacıyla doğalgazın hidrojen ve sentetik metan ile karıştırılması çalışmalarının yapılacağı ve gaz karışımı içindeki hidrojenin payının yüzde 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^[6].

Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası ile hidrojen teknolojilerinde ihtiyaç, çözüm ve yol haritaları açıklığa kavuşturulmuştur. Bu çerçevede 2053’te net sıfır emisyona ulaşmayı hedefleyen Türkiye’de 2030 yılından başlayarak 2053 sonuna kadar hidrojenin doğalgaza karışım oranının yüzde 12’ye ulaşmasının sağlanması, 2035’e kadar yeşil hidrojenin kilogram başına üretim maliyetinin 2,4 dolar, 2050 yılına gelindiğinde ise 1,2 dolar seviyesine düşürülmesi, elektrolizör kurulum gücünün ise 2030’da 2 GW’a 2035’te 5 GW’a ve 2053 yılında 70 GW’a çıkarılması amaçlanmaktadır.

Türkiye’nin, hidrojeni kısa, orta ve uzun vadede üretme potansiyeline sahip olduğu belirtilen raporda, hidrojen teknolojilerinin geliştirilebilmesi için gerekli ihtiyaçlar tespit edilerek bunu destekleyici çözümler sunulmuştur. Belirlenen hedefler doğrultusunda ilk etapta, emisyon azaltımını sağlamak amacıyla yer verilen doğalgazın hidrojen ve sentetik metan ile karıştırılması ve hidrojen enerjisinin yerinde tüketimi ve sanayi ihtiyacının karşılanmasına yönelik kullanımı öngörülmektedir. Planda öngörülen hedeflere ulaşabilmek için aşağıdaki politikaların hayata geçirilmesi için çalışmalar yürütüleceği belirtilmiştir^[6].

- Mevcut mevzuatı gözden geçirerek “hidrojenin üretimi, taşınması, depolanması ve kullanımı” için uygun hâle getirmek,
- Yeşil hidrojen üretiminde ve depolanmasında yerli aksam kullanılmasına yönelik teşvik mekanizması oluşturmak,
- Yeşil hidrojen için sertifika programları oluşturmak ve bu programların izlenebilirliğini sağlamak,
- Yerli ve millî teknolojilerin (elektrolizör, yakıt hücresi vb.) geliştirilerek üretilmesi için Ar-Ge ve Ür-Ge’yi teşvik etmek,
- Ticari talep ve yatırımları teşvik etmek için kamu ve özel sektör işbirlikleri oluşturmak,
- Sanayi, teknoloji, standartlar ve sertifikasyon geliştirme, tedarik zinciri ve ticaret fırsatları ile ilgili konularda uluslararası işbirliği yapmak,
- 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,
- Hidrojen teknolojileri konusunda nitelikli insan gücü yetiştirerek, istihdamda sürekliliği sağlamak,
- Linyit ve organik atıklardan hidrojen ve sentetik gaz üretimi için Ar-Ge çalışmaları yapmak,
- Yeşil hidrojen üretimini artırmak için yenilenebilir enerjinin üretim ve kullanım payını yükseltmek,
- Mevcut doğalgaz hatlarına hidrojen karıştırılmasıyla ısı sektörünün kademeli olarak karbonsuzlaşma dönüşümüne katkı sağlamak,
- Hidrojen depolamada başta bor madeni olmak üzere yerli kaynakları kullanmak,
- Dünya ve özellikle Avrupa pazarına yerli teknolojilerimiz ile ihtiyaç fazlası yeşil hidrojen veya amonyak ihraç etmektir.

Hidrojen yol haritasının paylaşıldığı 2023’ün Ocak ayındaki toplantıda dönemin Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Fatih Dönmez, 2030 yılından başlayarak 2053 sonuna kadar hidrojenin doğalgaza karışım oranını yüzde 12’ye, sentetik metanın karışım oranını ise yüzde 30’a çıkarmak” hedefini paylaşmıştır. Gazbir-Gazmer’e 2020’de doğalgaz şebekesine belirli oranlarda hidrojen katılmasına ilişkin bir Ar-Ge görevi verildiğini belirten Dönmez, “Türkiye’de ilk defa doğalgaz ile yenilenebilir kaynaklardan elde edilen hidrojenin yüzde 20’ye kadar karıştırılarak şebeke ve iç tesisatlarda kullanılmasının testleri yapıldı ve başarıyla sonuçlandı. Bu çalışmalar sadece evsel kullanımla sınırlı kalmayacak. Aynı mühendislik ekibi hidrojenin sanayide kullanımına yönelik Ar-Ge çalışmalarına da devam ediyor” açıklamasını yapmıştır. Bakan Dönmez ayrıca, “Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK)” sorumluluğunda hidrojen üretimi, depolanması ve dağıtımından oluşacak bir hidrojen değer zinciri oluşturacaklarını da dile getirmiştir^[9].

ASPİLSAN Hidrojen ve Yakıt Pili Ar-Ge Merkezi Müdürü Emre Ata, STM ThinkTech için yaptığı değerlendirmede hidrojen ekosistemine geçişin, beraberinde pek

çok alt sektörü etkileyecek büyük bir dönüşüm olup, yalnızca yurtiçi kaynaklarla başarılabilir bir konu olarak görünmediğine işaret etmektedir: “Yurtdışında hidrojen alanında önemli adımlar atmış olan ülkelerden destek alınması zaruridir. Ülkemizin Avrupa ile Ortadoğu arasında yer alan jeopolitik konumu, kendisine hidrojen için önemli bir sağlayıcı ve taşıyıcı olma potansiyeli kazandırmaktadır. Eğer hızlı hareket edilebilirse, hem iç ihtiyacımızın karşılanarak enerjide dışa bağımlılığımızın azaltılması hem de Avrupa ülkelerinin hidrojen ihtiyacını karşılayarak enerji ihracatçısı konumuna gelmesi oldukça mümkün görünmektedir. Bu anlamda baktığımızda, ‘Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası Raporu’nu kamu, üniversite ve sanayinin hidrojen alanında atacakları adımları tayin edebilmek için yetkili mercilerden çıkmış önemli bir ilk somut veri şeklinde değerlendirebiliriz. Dolayısıyla raporun içeriğindeki hedeflerin sayısal büyüklüklerinin tartışılması bu raporun hazırlanmış olmasının önemini gölgelememelidir.”

Raporla ilgili en çok göze çarpan ve en net sayısal hedef olarak elektrolizör kurulu gücümüzün 2030’da 2 GW, 2035’te 5 GW ve 2053 yılında ise 70 GW seviyesine çıkartılması olduğunu belirten Ata, bu sayısal hedeflerin, hidrojen ekosisteminde faaliyet gösteren kurumlar için cezbedici olmasına rağmen en önemli hamlenin, raporda sunulan 20 adet çözüm önerisinin hayata geçirilmesi noktasında gösterilecek irade olacağını vurgulamaktadır.

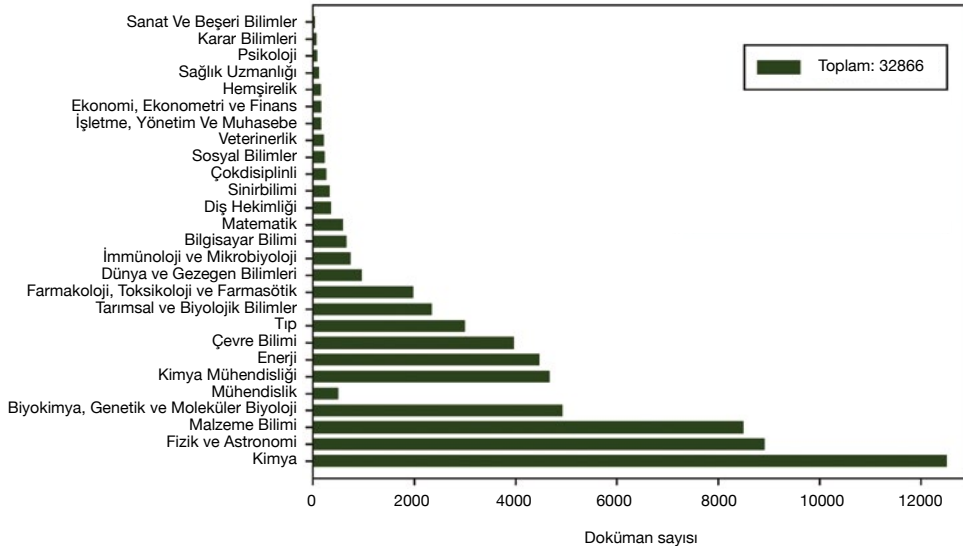
SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi Araştırma Koordinatörü Hasan Aksoy ise STM ThinkTech’e yaptığı yorumda; belgede öncelikle yeşil hidrojen üretimi ve depolanması için gerekli teknolojilerin ve ekipmanların yerli olarak üretimine yönelik Ar-Ge faaliyetlerinin yürütülmesi ve teknoloji üretimi sağlandıktan sonra yerli üretim aksamının kullanılması için teşvik mekanizmalarının ve sertifikasyon programlarının oluşturulmasının dikkat çeken önemli stratejiler olduğuna değinmektedir. “Tüm bu hedef ve stratejilerin belirlenmesi çok önemli olmakla birlikte, bundan sonraki süreçte belirlenen hedeflere ulaşılabilmesi

için önceliklerin belirlenerek, 2053 yılı net sıfır emisyonlu bir ekonomiye geçişte hidrojenin sunduğu potansiyellerden azami şekilde faydalanılması enerjide dışa bağımlılığı azaltacaktır. Türkiye’de hidrojenin üretimi, depolanması, taşınması ve son tüketim noktalarında kullanılması için öncelikli alanların ve uygulamaların belirlenmesi ile ilgili kapsamlı bir çalışmaya ihtiyaç olacaktır.”

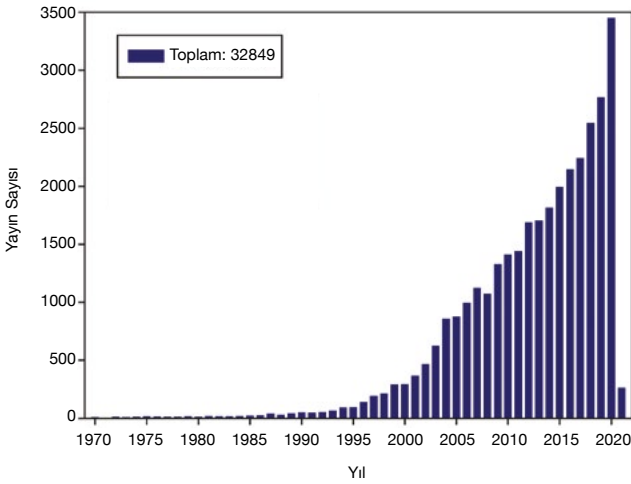
Yeşil hidrojenin Türkiye için önemini STM ThinkTech’e özel olarak değerlendiren Hidrojen Teknolojileri Derneği Başkanı Prof. Dr. İbrahim Dinçer de, strateji belgesinin açıklanmasının önemli olmakla birlikte acil eylem planlarının bir an önce harekete geçirilmesi gerektiğini belirtmektedir: “Enerji boyutunda bakıldığında hidrojene yönelik yapılacak yasal düzenlemelerden ziyade yönetmelikler, standartlar ve kodlarla birlikte mutlaka eylem planının çıkarılması hedeflenmelidir. Bunun yanında öncelikli olarak sektörler sağlanacak destek ve teşvikler, hedef programlar ile sektörde insan kaynağının geliştirilmesi, kurumsal yapıların oluşması ve sektör paydaşlarının teknolojik boyuta gidebilmelerini sağlayacak düzeneklerin kurulması hedeflenmelidir.”

3.2 Türkiye’de Yeşil Hidrojenle İlgili Yapılan Araştırmalar

Türkiye’de 1970-2021 yılları arasında hidrojen üzerine yapılan çalışmaların bir derlemesi Hidrojen Teknolojileri Derneği tarafından yayınlanan “Türkiye için Hidrojen Teknolojileri Yol Haritası” raporunda sunulmuştur^[10]. Konu alanlarına göre makale ve kitap sayılarını kapsayan araştırmaya göre Türkiye’de 2021 itibarıyla hidrojenle ilgili 32.866 adet çalışma yapılmıştır. Bu alandaki makaleler, konferans bildirileri, derlemeler, kitaplar, kitap bölümleri, editörün yorumunu içeren başyazılar, lisansüstü tezler, patentler ve araştırma projeleri açısından derlenen araştırmaya göre, kimya sektörü hidrojenle ilgili en çok çalışmanın yapıldığı konu alanı olarak gözükmekte ve bunu sırasıyla fizik, astronomi ve malzeme bilimi takip etmektedir.



Şekil 3: Türkiye’de 1970-2021 yılları arasında hidrojen araştırması ile ilgili her bir konu alanı için doküman sayısı^[10].



Şekil 4: Türkiye'nin 1970-2021 yılları arasında hidrojen ile ilgili yapılan araştırma çıktıları^[10].

1970-2021 yılları arasında Türkiye'de hidrojen konusunda makale, konferans bildirisi ve derleme makale sayılarının değişiminin incelendiği raporda; önceki döneme göre 1990-1995 yılları arasında hidrojenle ilgili çalışmalar artış gösterse de bu çalışmaların özellikle 2000'li yılların başlangıcı ile ivme kazandığı ve hidrojene olan ilginin arttığı görülmektedir. Benzer bir durum tezlerde de görülmektedir. 1985'ten bu yana, Türkiye'de hidrojen ile ilgili toplam 982 yüksek lisans ve doktora tezi tamamlanmış ve bunun 769 gibi önemli bir kısmı yüksek lisans tezlerinden oluşmaktadır. Aynı dönemde sağlık bilimlerinde de bazı çalışmalar tamamlanmıştır. Raporun bulgularına göre, 2010 yılından sonra çalışmalar derinleştirilmiş ve doktora çalışmalarında da artış gözlenmiştir^[10].

Hidrojenle ilgili 2021 itibarıyla Türkiye'de 131 patent varken, TÜBİTAK tarafında toplam 110 proje desteklenmiş, yayınlanan hidrojen konulu kitapların sayısında ise özellikle 2010'dan sonra ciddi bir artış görülmüştür^[10].

Hidrojen Teknolojileri Derneği Başkanı Prof. Dr. İbrahim Dinçer TÜBİTAK'ın araştırma merkezleri, üniversiteler, TENMAK ve birçok bakanlığın bünyesindeki araştırma birimlerinde yeşil hidrojen konusunda daha çok Ar-Ge ve teknolojiye gidebilecek ölçekte çalışmalar yapıldığını, ancak bunların devam edebilmesi için sürdürülebilir fonlama mekanizmalarının acilen kurulması gerektiğini belirtmektedir.

4. TÜRKİYE'DE YEŞİL HİDROJENLE İLGİLİ YAŞANAN GELİŞMELER

4.1 Türkiye'nin İlk Yeşil Hidrojen Vadisi

Enerji Bakanlığının Ocak 2023'te yayınladığı Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritasından sonra Türkiye'nin yeşil hidrojen konusunda şimdiye kadarki en ciddi adımlarından biri Türkiye'nin ilk hidrojen vadisinin hayata geçirilmesi olmuştur. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı Kalkınma Ajansları Genel Müdürlüğü koordinasyonunda, Güney Marmara Kalkınma Ajansı (GMKA) ve TÜBİTAK MAM'ın birlikte yürütmüş olduğu "HYSouthMarmara Hidrojen Vadisi ve Güney Marmara Hidrojen Kıyısı Platformu" projelerinin imza töreni 2023'ün Mayıs ayında gerçekleştirilmiştir^[11]. Hidrojenin üretildiği, depolandığı, tüketildiği ve ilgili firmaların hidrojeni üretilip kullandığı bir kümelenme olan hidrojen vadisi Türkiye'nin yeşil hidrojen yolculuğunda önemli bir köşe taşı olarak görülmektedir. GMKA'nın koordinatörlüğünde Türkiye'nin önemli kurum ve kuruluşları bu projede yer almaktadır. Hidrojen ekonomisinin gelişimini destekleyecek bu projenin bütçesi 36,8 milyon avro olarak belirlenmiş ve proje 9. Çerçeve Programı Ufuk Avrupa 2021-2027 döneminde açılan Hidrojen Vadileri Çağrısı kapsamında yaklaşık 7,5 milyon avro tutarında hibe almaya hak kazanmıştır^[12]. Bu rakam şimdiye kadar Avrupa'dan tek seferde temin edilen en büyük hibe olmuştur.

Projede Türkiye'den aşağıdaki kuruluşlar rol almaktadır^[13]:

1. Güney Marmara Kalkınma Ajansı
2. Sabancı Üniversitesi
3. Enerjisa Enerji Üretim
4. Kaleseramik Çanakkale Kalebodur Seramik Sanayi
5. Şişecam
6. ETİ Maden
7. TÜBİTAK
8. Türk-Alman Üniversitesi
9. Linde Gaz A.Ş.
10. Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi
11. Hidrojen Peroksit
12. PwC Yeminli Mali Müşavirlik
13. TENMAK



Beş yıl sürmesi planlanan proje kapsamında, Balıkesir’de Enerjisa Üretim’in sahasında üretilecek minimum 500 ton yeşil hidrojenin, Linde Gaz tarafından taşınarak Hidrojen Peroksit, Kale Seramik, Şişecam ve Eti Maden’in tesislerinde kullanılması hedeflenmektedir. Proje ile sadece yeşil hidrojen üretimine değil, türevlerinin üretimine de odaklanılacaktır. Bu kapsamda Türkiye’nin ithalatına bağımlı olduğu metanol ve amonyak gibi hidrojen türevlerinin yeşil yöntemlerle ve ülkemizin kendi kaynaklarıyla üretilmesi amaçlanmaktadır. Aynı zamanda proje kapsamında Türkiye’nin dünya rezervlerinin yüzde 73’üne sahip olduğu ve hidrojen ekonomisinde önemli bir yer tutan bor mineralinin hidrojen depolamadaki avantajlarının Balıkesir’de kurulacak Sodyum Bor Hidrür Tesisi yatırımıyla incelenmesi öngörülmektedir^[13].

Proje kapsamında Türkiye’de şu ilkler hayata geçirilecektir^[12]:

- Türkiye’nin ilk MW ölçekli elektrolizörünün kurulması ile Türk sanayinin en büyük kapasiteli yeşil hidrojen tesisi üretime başlayacaktır.
- Yüzde 100 hidrojen taşıyabilecek boru hatlarının planlarını da içerecek Türkiye’nin ilk bölgesel hidrojen yol haritası hazırlanacaktır.
- Türkiye’nin ithalatına bağımlı olduğu amonyak ve metanol gibi hidrojen türevlerinin yeşil üretimi için ilk yatırım fizibiliteleri ortaya çıkacaktır.
- Yeni bir bor kimyasal olarak katı fazda hidrojen depolayan Sodyum BorHidrür ticari olarak ilk kez üretilecektir.
- Sodyum BorHidrür temelli yeni bir güç sistemi geliştirilecektir. Türkiye’nin hidrojen ile çalışabilen ilk yerli hibrid karo seramik fırını geliştirilecektir.

GMKA’ya göre, yeşil hidrojen tesisinin kurulması için Balıkesir ve Çanakkale’nin yer aldığı Güney Marmara’nın belirlenmesinin çeşitli nedenleri bulunmaktadır. GMKA’nın bölgede hidrojen ekonomisini canlandırma girişimlerinin olması, Enerjisa Üretim ve Eti Maden gibi kuruluşların bölgede yerleşik tesislerinin bulunması, Güney Marmara’nın Türkiye’nin elektriğinin yüzde 12,5’ini üretmesi ve rüzgâr enerjisi kurulu kapasitesinde Türkiye lideri olması, ayrıca Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Danimarka Enerji Ajansının ortak yürüttüğü deniz üstü



Şekil 5: HYSouthMarmara Projesi^[13].

RES çalışmalarında en cazip bölgelerden biri olarak belirlenmesi gibi faktörler Güney Marmara’yu en uygun bölge yapmaktadır^[14].

“Güney Marmara Hidrojen Kıyısı Platformu” ile bölgede iki önemli fizibilite çalışması da ortaya çıkarılacaktır. Bandırma-Biga hattına kazandırılması düşünülen “Güney Marmara Yeşil Endüstri Bölgesi”nin fizibilite çalışması ile sanayinin planlı ve temiz üretim odaklı gelişmesi için önemli bir adım atılmış olacaktır. Yeşil dönüşüm sürecinde Türkiye’nin eğitim merkezi olmak isteyen Güney Marmara’ya, Katılım Öncesi Yardım Aracı (Instrument For Pre-Accession Assistance -IPA) fonu ile hayata geçirilen Yenilenebilir Gençlik Enerjisi (Re-YOU Operasyonu) ile Balıkesir Üniversitesi ve Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesinde kurulan Yenilenebilir Enerji Eğitim Merkezlerinden sonra “Yeşil Deniz Endüstrisi Ar-Ge Test ve Eğitim Merkezi” de kazandırılarak, bölgenin deniz üstü yenilenebilir santraller ve hidrojen alanında uzmanlaşması sağlanacaktır. Denizüstü Rüzgâr Enerjisi Derneği, Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi ve TÜBİTAK MAM’ın koordinasyonunda Merkez’in fizibilite çalışması tamamlanacaktır^[15].

“Güney Marmara Hidrojen Kıyısı Platformu” projesi ile Türkiye’nin ilk yenilenebilir enerji parkı olması hedeflenen Bandırma Enerji Üssü’ndeki uygulamaların, tüm ülkeye örnek teşkil etmesi ve bu uygulamalar ile sanayi ölçeğinde daha büyük çalışmaları tetiklemesi beklenmektedir.

Şubat 2022’de temelleri atılan Türkiye’nin ilk yeşil hidrojen tesisinde 2023’ün Nisan ayı itibarıyla pilot üretime ve yeşil hidrojenin 10 kilovatlık bir elektrolizörle tesisin santralinde jeneratör soğutmasında kullanılmasına başlanmıştır. Enerjisa Üretim İşletme ve Teknikten Sorumlu Genel Müdür Yardımcısı Emre Erdoğan, bu sayede 2025’te yıllık ortalama 500 ton yeşil hidrojen üretimi gerçekleşmesiyle yıllık yaklaşık 12.000 ton seviyelerinde bir karbon emisyonunun önüne geçmeyi planladıklarını belirtmiştir^[16].

4.2 Türkiye’de Yeşil Hidrojen Araştırmaları ve Yatırımlarıyla Öne Çıkan Şirketler

Türk özel sektörü yaklaşan yeşil hidrojen fırsatının erken farkına varmış ve hızlıca aksiyon alabilmiştir. Türkiye’nin önde gelen sanayi devleri ve yenilenebilir enerji sektörünün yenilikçi pek çok şirketi, yeşil hidrojenin çeşitli alanlarında peş peşe yeni ürün geliştirmekte ve yeni projeler devreye almaktadır. Türkiye’nin köklü sanayi kuruluşu Tüpraş bunlardan biridir. 2022’nin Ağustos ayında portföyünde 324 MW gücünde yenilenebilir enerji gücü bulunan Entek Elektrik şirketini bünyesine katan Tüpraş, böylelikle Entek’in bünyesinde yer alan 60 MW gücünde bir rüzgâr enerjisi santralini, toplam 264 MW gücünde sekiz hidroelektrik santralini ve 112 MW gücünde bir doğalgaz çevrim santralini portföyüne geçirmiştir. 2050 için karbon nötr olma hedefi belirleyen Tüpraş, bu doğrultuda hazırlanan “Stratejik Dönüşüm Planı” ile sürdürülebilir rafinaj, sıfır karbonlu elektrik, yeşil hidrojen ve biyoyakıtlar olmak üzere dört iş alanına odaklanmıştır. Tüpraş yetkilileri Entek’in şirket bünyesine katılmasını, sıfır karbonlu elektrik ve yeşil hidrojen üretimini destekleyecek

önemli bir kilometre taşı olarak gördüklerini ve Entek'in kurulu gücünü 2030'da 1 GW'a, 2035'de de 2,5 GW'a çıkarmayı hedeflediklerini açıklamıştır^[17].

Türkiye'nin en büyük hidrojen üreticisi konumundaki Tüpraş elektrolizörlerle yeşil hidrojen üretmeye odaklanmayı ve 2025'ten itibaren yeşil hidrojen üretimine kademeli olarak geçerek, hidrojen üretiminden oluşan emisyonlarını 2040 yılında sıfırlamayı hedeflemektedir. Böylece zaman içinde de hidrojen, Tüpraş'ın üretimi için sadece bir ara ürün olmaktan çıkıp ana ürünlerinden biri olacaktır. Şirketin planları arasında 2030'da lojistik ve ağır taşımacılık alanında yeşil hidrojen satışı yapmaya başlamak, yeşil hidrojen değer zincirinde farklı alanlarda da faaliyet göstererek, ulaşım başta olmak üzere farklı birçok sektöre hizmet vermek, ihracat potansiyellerini değerlendirmek bulunmaktadır^[18].

Enerjisa Üretim ise Bandırma Enerji Üssü ile Türkiye'nin ilk yeşil hidrojen üretimi yapılan tesisiyle bu alandaki öncü şirketlerden biri olmuştur. Burada hâlihazırda yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik ve Marmara Denizi suyunun elektrolizi ile yeşil hidrojen üretilmektedir. Enerjisa Üretim, ilk etapta ürettiği hidrojeni Bandırma Enerji Üssü'nde kendi ihtiyaçları için kullanmaktadır. İlerleyen dönemlerde ise yeşil hidrojenin belirli bir oranda doğalgazla çalışan türbinlere yakıt olarak verilmesi planlanmaktadır. Daha sonraki aşamada ise Bandırma ve yakın çevresindeki sanayi tesislerinin enerji ihtiyacının yeşil hidrojen ile karşılanması hedefler arasındadır. Şirket ayrıca yeşil hidrojeni ve bundan elde edilecek amonyağı ihraç etmeyi de hedeflemektedir^[19].

Yenilikçi enerji şirketlerinden Smart Güneş Enerjisi Teknolojileri de yeşil hidrojen teknolojileri alanında şirket kurma kararı almıştır. Şirket 10 milyon lira sermayeli yeni şirketin sermayesine yüzde 75 oranında iştirak edeceğini duyurmuştur^[20].

Sabancı Holding'in Kurumsal Girişim Sermayesi Fonu olan Sabancı Ventures da 2020 yılında kurulan hidrojen ekipman üreticisi SunGreenH2'ye 800 bin dolar yatırım yapmıştır. Singapur merkezli SunGreenH2, geleneksel hidrojen üretimini dönüştürmek üzere geliştirdiği teknolojisi ile sürdürülebilir enerji kaynakları ve suyu kullanarak yeşil hidrojen üreten ekipmanlar geliştirmektedir. Patentine ait elektrolizör teknolojisi ile SunGreenH2, sektördeki rakiplerine göre yeşil hidrojeni çok daha çevreci, uygun maliyetli ve verimli üretmeyi hedeflemektedir. Sabancı Holding Strateji ve İş Geliştirme Grup Başkanı Gökhan Eyigün, 2023'ün Nisan ayında yaptığı açıklamada, Türkiye'nin ilk yeşil hidrojen üretimine başlayan Sabancı Topluluğunun SunGreenH2 yatırımının, gruba yeşil hidrojen pazarında erken pozisyonlanma fırsatı sunduğunu belirtmiştir^[21].

Türkiye'yi yeşil dönüşümde üst sıraya taşıyacak hidrojen için çalışmalarına başlayan diğer bir şirket YEO Teknoloji de yeşil hidrojen üretmek üzere çözümler sunma çalışmalarına başlamıştır. 18 yıldır Türkiye'de ve dünyanın farklı ülkelerinde güneş enerjisinden rüzgâr enerjisine, hidroenerjiden biyogaza kadar birçok farklı alanda teknoloji üreten YEO Teknoloji, Avrupa pazarı için de Almanya'da YEO Hidrojen isimli bir iştirak kurmuştur^[22].

ASPİLSAN Enerji ve XGEN ortaklığı da İzmir Kalkınma Ajansı Desteği ile "İnovatif Küçük Ölçekli Rüzgâr Türbini ile Enerjilendirilmiş Yeşil Hidrojen Üretimi" projesini gerçekleştirmek için çalışmaktadır. Gelecek projelerin öncüsü olarak geliştirilecek yüksek kapasitedeki ürünlere geçişte stratejik bir adım olarak nitelenen bu projede, ASPİLSAN Enerji'nin geliştireceği 2 kW'lık yerli PEM elektrolizör ve XGEN Enerji'nin geliştireceği yerli düşey eksenli rüzgâr türbini İzmir'de bir kampüs arazisine kurulacak ve burada yüksek saflıkta (yüzde 99,999) yeşil hidrojen elde edilecektir. ASPİLSAN Enerji, hem yurtiçinde hem de yurtdışında artan bir talebe sahip olan yeşil hidrojen üretiminin en önemli bileşenlerinden biri olan elektrolizörün yerli olarak üretilmesini amaçlamaktadır. Proje çerçevesinde XGEN Enerji tarafından geliştirilmekte olan yerli düşey eksenli rüzgâr türbini (WIND-ER) sistemi elektrolizör sistemi ile entegre edilecektir. WIND-ER rüzgâr türbinlerinin sessiz çalışması ve şehir içinde kullanılabilmesi sayesinde, yenilenebilir enerji kaynağıyla entegre elektrolizör sistemlerinin şehir içinde kullanımını yaygınlaştıracak inovatif bir yaklaşım olacağı belirtilmektedir^[23].

2007 yılında kurulan ve Türkiye'de yeşil hidrojen teknolojilerine odaklanan şirketler arasında yer alan TEKSİS İleri Teknolojiler de yerli elektrolizör üretimi için hazır olan şirketlerimiz arasındadır. Ankara'daki teknoloji binasının enerjisini yeşil hidrojenle sağlayan TEKSİS İleri Teknolojiler, elektriği batarya yerine hidrojenle depolamakta, ayrıca ürettiği yeşil hidrojeni yakıt olarak kullanan drone ve mobiletlere sahiptir^[24].

5. TÜRKİYE'DE YEŞİL HİDROJENİN SUNDUĞU FIRSATLAR

5.1 Yeşil Hidrojenin Ekonomik Faydaları

Türkiye yeşil hidrojen alanında belirlediği hedeflere ulaşabilmesi hâlinde ekonomik açıdan benzersiz imkânlarla kavuşabilecektir. SHURA Enerji Dönüşüm Merkezinin "Türkiye'nin Yeşil Hidrojen Üretim ve İhracat Potansiyelinin Teknik ve Ekonomik Açından Değerlendirilmesi" raporuna göre, tahmini maliyetler ve olası ticari fiyatlamalar dikkate alındığında, 2050 yılında yeşil hidrojenin Türkiye ekonomisine katkısı yıllık 6 ila 8 milyar dolar arasında gerçekleşebilecektir. Ayrıca kurumun Araştırma Koordinatörü Hasan Aksoy, bu faydanın sağlanması için 2050 yılına kadar beklenilmesi gerekeceğine de dikkat çekmektedir: "Ne zaman yatırımlar yapılır ve yeşil hidrojen üretimi ekonomiye kazandırılırsa doğrudan etkileri önümüzdeki süreçte hissedilecektir.

Türkiye'de ilgili sektörlerin toplam enerji talebinin yüzde 10'unun yeşil hidrojenle ikame edilmesi durumunda Türkiye'nin doğalgaz, petrol ve kömür tüketimini ve ithalatını azaltarak yaklaşık 2 ila 3 milyar dolar fayda sağlayacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca 2050 yılında Türkiye'nin kilogram başına 1,52 ila 1,73 dolar yeşil hidrojen arz maliyetiyle doğalgaza karışımında yıllık yaklaşık 300 milyon dolar, amonyak için ise ton başına 500 dolar

maliyetle yıllık 4,5 milyar dolar brüt fayda elde edebileceği belirtilmektedir. Bu faydalara ek olarak yeni iş fırsatları, Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması'nın potansiyel etkilerinin azalması ve önüne geçilen ithal yakıt maliyetleri de yeşil hidrojen ekonomisinin temel faydaları arasında sayılmaktadır^[1].

Hidrojen Teknolojileri Derneğinin 2021 yılında yayınladığı "Türkiye İçin Hidrojen Teknolojileri Yol Haritası" ise daha yüksek bir potansiyelden bahsetmektedir. Raporu göre ülkemizde 2030 yılına kadar hidrojene geçiş süreciyle yaklaşık olarak 250 milyar liralık bir gelir beklenirken, yaklaşık 170.000 istihdam oluşacağı düşünülmektedir^[10].

Yeşil hidrojen Türkiye'nin uzun yıllardan bu yana devam eden kronik cari açık problemini çözmekte de önemli bir katalizör rolü üstlenebilir. SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi tarafından 2021 yılında yayınlanan "Türkiye'nin Ulusal Hidrojen Stratejisi için Öncelik Alanları" raporuna göre Türkiye'nin toplam nihai enerji tüketiminin yaklaşık yüzde 5'i hidrojen ile ikame edilebilir ve bu, Türkiye'nin doğalgaz ve diğer fosil yakıtlara olan ithalat bağımlılığının azaltılmasında önemli bir rol oynayabilir. Örneğin, doğalgaz şebekesinde yapılacak yüzde 5'lik karışım, yılda 2,5 milyar m³ ithal doğalgazın, yani yılda yaklaşık 0,6 milyar dolara eşdeğer doğalgaz ithalat maliyetinin ortadan kaldırılması anlamına gelir. Ayrıca yoğun enerji tüketen ağır sanayi ve ulaştırma için temiz bir enerji alternatifi sağlayacak, en önemlisi de Türkiye'nin doğalgaz şebekesini dönüştürecek ve yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke yatırımları için alternatif esneklik seçenekleri sağlayacaktır^[2].

Hidrojen Teknolojileri Derneğinin çalışmalarına göre, yenilenebilir enerjideki hamleleri ve doğal kaynaklarındaki güçlü pozisyonu sayesinde dünyanın en büyük hidrojen ihracatçılarından biri olmaya aday ülkesi Türkiye, teknolojik kabiliyetlerini de artırarak cari açığı olan bir ülke konumundan, ihracat fazlası olan bir ülke konumuna geçebilir^[4].

5.2 Yeşil Hidrojenin Türkiye'nin İklim Değişikliği İle Mücadelesine Katkısı

Dünyada yeşil hidrojenin gelecek 30 yıl için ana akım enerji kaynağı olarak görülmesinin en önemli motivasyon kaynaklarından biri de karbon nötr niteliği nedeniyle iklim değişikliğiyle mücadeledeki olumlu katkılarıdır. Analizimizin birinci bölümünde dünya ülkelerinin karbon nötr gelecek hedeflerine ulaşmada yeşil hidrojene biçtikleri rol ayrıntılı biçimde ele alınmıştır^[25].

Avrupa Yeşil Mutakabati çerçevesinde sürdürülebilirlik yolunda önemli kazanımlar sağlaması gereken Türkiye'de doğal olarak yeşil hidrojen potansiyelini son kullanıcı sektörlerin karbonsuzlaşmasında kullanabilecektir. Türkiye'de 2030 yılına kadar doğalgaz kullanılan tüm sektörlerde doğalgaza hacimsel olarak yüzde 20 hidrojen karıştırılması ile ömür çevrim analizleri sonuçlarına göre CO₂ emisyonları yüzde 18,5 azalırken, NO_x ve SO₂ emisyonları yüzde 17,5 ve yüzde 16,6 oranında azalacaktır^[10].

Türkiye'nin 2053 yılı net sıfır emisyon hedefine ulaşabilmesi için üretilen yeşil hidrojen ve türevlerinin

karbonsuzlaşmada çok kritik rollerinin olduğunu belirten SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi Araştırma Koordinatörü Hasan Aksoy, 2053 yılında öngörülen 1.200 TWh'lik Türkiye toplam enerji tüketiminin yaklaşık yüzde 15'inin yeşil hidrojen ve türevlerinden sağlanabileceğini hesapladıklarını belirtmektedir: "Net sıfır emisyon hedefine ulaşırken özellikle sanayi ve ulaştırma sektörlerinin karbonsuzlaşmasında yeşil hidrojen ve amonyak, metanol, metan, karosen gibi sentetik türevlerinin kullanımının gerekliliğini gördük. Bu miktarda yeşil hidrojen üretimi için yaklaşık 288 TWh'lik yenilenebilir enerjiden üretilen elektriğe ihtiyaç olacak. Bu rakam 2053 yılındaki elektrik tüketiminin yaklaşık üçte birine denk geliyor. Bu bağlamda, yeşil hidrojen üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimini doğru planlamamız gerekecek. Fosil kaynakların kullanımının sonlandırılması bugünden yarına olacak kısa vadeli bir dönüşüm olmayacaktır. Enerji dönüşümü sürecinde yeşil hidrojene önemli roller düşeceği aşikâr."

5.3 Türkiye'nin Yeşil Hidrojen Konusundaki Avantajları

Türkiye özellikle batıda rüzgâr enerjisi, orta ve güney bölgelerde ise güneş enerjisi bakımından çok önemli potansiyellere sahiptir. Türkiye'nin ayrıca, elektrik üretimi için zengin hidroelektrik kaynakları ve özellikle batı bölgelerinde jeotermal enerji potansiyelleri bulunmaktadır. Bu kaynaklar öncelikli olarak binalar, sanayi veya ulaştırma sektörünün elektrik ihtiyaçlarını karşılamak ve elektrik sisteminin karbonsuzlaşması için kullanılabilir.

Hidrojen Teknolojileri Derneğinin "Türkiye İçin Hidrojen Çiftliği Konsepti" raporuna göre Türkiye, dünya hidrojen pazarında çok önemli bir oyuncu olmaya adaydır, çünkü bunu mümkün kılacak iki ana kaynağı bulunmaktadır: yenilenebilir enerji ve su. Yenilenebilir enerjinin hemen hemen bütün çeşitlerine sahip ve üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye, yeraltı su kaynakları ve akarsularıyla bu kaynakları hidrojene dönüştürme potansiyeline sahiptir^[4].

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezinin analizlerine göre de, 2030 yılında Türkiye elektrik sisteminde yüzde 30'u rüzgâr ve güneş enerjisi olmak üzere, toplam yenilenebilir enerji üretim payının yüzde 50'nin üzerine çıkmasının teknik ve ekonomik açıdan mümkün olduğu gösterilmiştir. Yenilenebilir enerji maliyetleri hızla düşmekte ve elektroliz piyasasında ölçek ekonomisinin itici gücüyle önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Dolayısıyla Türkiye küresel düzeyde düşük maliyetli yeşil hidrojen üretilen en elverişli bölgelerden biri olabilir.

Türkiye geleceğin hidrojen piyasalarında önemli avantajlara sahiptir. Doğalgaz boru hatlarına yönelik altyapısı ve hidrojen ticaretinde kullanılabilecek mevcut limanları ve yenilenebilir enerji kaynak mevcudiyeti, Türkiye'ye gelişmekte olan diğer büyük ekonomilere kıyasla avantaj sağlayabilecektir. Avrupa doğalgaz ve elektrik şebekelerine entegrasyonu ve uyumlu hâle getirilmiş düzenleyici mevzuat çerçevesi, hidrojen ekonomisi oluşturma maliyetlerinde düşürücü etkiye sahip olabilir. Yenilenebilir enerji yatırımları hızlandıkça ölçek ekonomisi artacak ve

Türkiye’de üretilen yeşil hidrojen diğer ülkelere (özellikle Akdeniz ve Karadeniz havzalarındaki ülkelere) göre rekabetçi hâle gelebilecektir^[1].

Türkiye’nin konjonktürel olarak da bazı avantajları bulunmaktadır. Örneğin ASPİLSAN Enerji, Hidrojen ve Yakıt Pili Ar-Ge Merkezi Müdürü Emre Ata, hidrojen konusunda dünyada son birkaç yılda yaşanan pandemi ve savaş gibi önemli gelişmelerin hidrojenin yaygınlaşma hızını olumsuz etkilediğini belirterek, AB ülkeleri de dahil olmak üzere önde gelen ülkelerinin hidrojen hedeflerinin çok az bir kısmını gerçekleştirebildiklerinin konuşulduğuna dikkat çekmektedir. Ata’ya göre bu yavaşlama Türkiye gibi teknoloji seviyesini yükseltmeye çalışan ülkeler için avantaja çevrilebilir.

5.4 Yeşil Hidrojenin Türkiye’de Sektörlere Sunduğu Fırsatlar

5.4.1 Yeşil Hidrojenin Yakıt ve Enerji Taşıyıcısı Olarak Türkiye’ye Getireceği İmkânlar

Yeşil hidrojen, yakıt, enerji taşıyıcısı (depolama) ve hammadde olarak çok çeşitli şekillerde kullanılabilir. Türkiye’de de bu üç başlıkta yeşil hidrojen kullanımının yaygınlaştırılması uzmanlarca mümkün görülmekte ve bunun ülkeye çok sayıda avantaj kazandırabileceğine işaret edilmektedir.

Emre Ata, STM ThinkTech’e özel yorumunda, hidrojenin yakıt olarak kullanılmasını üç alt başlıkta değerlendirmektedir. Hidrojenin konvansiyonel yakıt ünitelerine yakıt katkısı olarak gönderildiği mekanizmalarda ağırlıklı olarak doğalgaza hidrojen katılmasının söz konusu olduğuna değinen Ata, hidrojenin bugünkü üretim maliyetinin beklentilerin çok üzerinde seyretmesi ve yakın zamanda da istenen seviyeye inemeyeceğinin görülmesinin bu konuda ciddi adımların atılmasını zorlaştırdığını vurgulamaktadır. Ata, hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı ikinci durum olan yeni nesil hidrojen içten yanmalı motorlar konusunda ise başta Toyota olmak üzere önemli otomotiv firmalarının bu konuda yapmış olduğu iyileştirme çalışmalarının, bu motorların daha güvenli ve verimli şekilde çalışabilir olduğunu gösterdiğine ve dünyadaki trendin yönünü değiştirmeye aday olduğuna dikkat çekmektedir: “Ülkemizde de bir firmanın bu konuda çalışmalar yürütüyor olması sevindiricidir. Eğer yerli bir hidrojen motoru geliştirilmesi başarılabilirse, ulaştırma sektörü uygulama alanı seçilmek suretiyle hidrojen ekosistemine çok büyük katkı sağlanması mümkündür.” Ata’ya göre, en çok bilinen üçüncü alt başlık olan yakıt hücrelerinin teknolojik olarak rekabetçi seviyeye çıkabilmelerinin önündeki en büyük engel ise hidrojenin üretim ve depolama gibi diğer maliyet kalemleridir: “Bu sebeple yakıt pillerinin kısa vadede çok hızlı yaygınlaşmasını beklememekteyiz. Ancak binek otomobiller dışında otobüs, kamyon, tren, gemi gibi ağır ölçekli sistemlerde yakıt hücrelerinin yaygınlaştırılması mümkün olabilir. Nitekim ancak kapasite büyüdüğünde yakıt pilleri klasik batarya sistemleri ile rekabet edebilir duruma gelebilmektedir.”

Ata, enerji taşıyıcısı olarak bakıldığında ise hidrojenin kullanımının, hidrojen ekosisteminin içerisinde çok

kilit bir noktada durduğunu belirtmektedir: “Yenilenebilir enerji santrallerinde gün içi ve mevsimsel farklılıklardan kaynaklanan atık enerjinin depolanması; ayrıca elektrik şebekelerine uzak olan enerji tüketim bölgelerine enerjinin elektrik yerine hidrojen formunda taşınması hidrojen konusunda önde gelen ülkelerin pilot ölçekte uygulamaya koyduğu pek çok projenin ana kurgusu olmaktadır. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması, temiz elektriğin daha ulaşılabilir ve ucuz hâle gelmesi, hidrojenin enerji taşıyıcısı olarak kullanılabilirliği pek çok küçük ve orta ölçekli deneme projesinin hayata geçirilmesi için destekleyici rol oynamaktadır. Bu konuda ülkemizde devletin de desteğiyle bazı pilot ölçekli projeler kurgulanabilir. Bu projelerden elde edilecek birikimle daha büyük hidrojen ekosistemleri inşa edilebilir. Ayrıca buralardan elde edilecek bilgi birikimi, doğrudan yurtdışına ihraç edilebilecek bir değer yaratacaktır.”

5.4.2 İmalat Sanayiine Yönelik Fırsatlar

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de yeşil hidrojen karbonsuzlaştırılması zor sektörler için ciddi bir çözüm olma potansiyeli taşımaktadır. Son yıllarda, imalat sanayiini dönüştürmek için dikkat çeken stratejilerden biri, mevcut proses ısılarının yenilenebilir elektrik üretimine dayanan elektrifikasyon alternatifleriyle dönüştürülmesidir. Yenilenebilir elektrik, fosil yakıtların yerine kullanılabilir hidrojen üretmek için de kullanılabilir. DRI gibi hidrojene dayalı yeni süreçler ortaya çıkabilir ve bunlar, yeşil çelik üretimi için Türkiye’deki elektrik ark ocağı hatları ile entegre edilebilir. Yeşil hidrojen üretilen metan/metanol ve nafta gibi sentetik yakıtlar kimyasallar ve plastik üretimi için hammadde olarak da kullanılabilir. Aynı şekilde, yeşil hidrojen, kamyonlar için dizel kullanımına ve mevcut doğalgaz altyapısını korurken doğalgaz ile karıştırılarak fosil yakıtlara uygun bir alternatif sağlamaktadır^[2].

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezinin “Türkiye’nin Yeşil Hidrojen Üretim ve İhracat Potansiyelinin Teknik ve Ekonomik Açından Değerlendirilmesi” raporuna göre yeşil hidrojen; doğalgaz, ulaştırma ve imalat sanayinin karbonsuzlaşma süreçlerine doğru bir şekilde entegre edilirse, 2050’de toplam hidrojen talebi yıllık 1-2 milyon tona kadar ulaşabilecektir. Hidrojenin toplam enerji talebinde yüzde 10 ikamesi durumunda ise 2050 yılında öngörülen hidrojen talebinin demir-çelikte 0,30, çimentoda 0,18, rafineriler ve petrokimyada 0,02, doğalgaza karışımında 0,45 ve ulaşımda 0,90 milyon ton olacağı ifade edilmektedir^[1].

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezinin raporuna göre^[1] yeşil hidrojen, yenilenebilir elektriğin depolanmasına yardımcı olabilir ve sonrasında yüksek kapasite kullanımına ihtiyaç duyan üretim tesislerinin enerji ihtiyacını karşılayabilir. Hidrojen ayrıca, farklı sanayi proseslerinin ihtiyaç duyduğu tüm sıcaklık seviyelerini karşılayabilir. Hidrojene dayalı yanma teknolojileri, mevcut sanayi altyapısına sonradan eklenebilir. Bununla birlikte, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen hidrojen, altyapı ve üretim için yüksek yatırım maliyeti gerektirmektedir. Hidrojen üretimi için gerekli elektrik talebi ve bu hidrojen üretiminin

verimliliğinin artırılması, çözülmesi gereken sorunlar arasındadır. Yine de elektrolizden elde edilen yeşil hidrojen, yenilenebilir kaynaklardan doğrudan elektrifikasyona göre 1,4 kat daha fazla elektrik gerektirmektedir. Ayrıca, yeşil hidrojen tedariki, sadece hidrojenin üretimi için gerekli olacak elektrik üretim kurulu gücünün yatırımını da gerektirecektir.

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi Araştırma Koordinatörü Hasan Aksoy, Türkiye’de binalar, ulaştırma ve sanayi sektörlerinde kullanılan fosil yakıtların ikamesinde yenilenebilir kaynaklardan üretilmiş elektriğin kullanılması, yani elektrifikasyonun artmasının karbonsuzlaşma yolunda önemli fırsatlar sunmakla beraber, bu sektörlerdeki bazı prosesler için özellikle yüksek ısı gerektiren durumlarda fosil yakıtlardan elektriğe geçişin mümkün olmayabileceğine dikkat çekmektedir. Aksoy’a göre bu sektörlerin tamamen karbonsuzlaşması için daha kapsamlı çözümler gerektiğinden burada yeşil hidrojen devreye girebilir ve karbonsuzlaşması zor olan bu sektörlerin dönüşümünde kritik rol oynayabilir: “Türkiye’de hâlihazırda rafineri ve kimya gibi bazı sektörlerde hidrojen doğrudan hammadde olarak kullanılıyor, fakat bu hidrojenin tamamı fosil yakıtlardan üretilen hidrojen. Yeşil hidrojenle ilgili pilot proje diyebileceğimiz projelerin başladığını duyuyoruz. Yeşil hidrojen ve türevleri fosil yakıtlara ikame olarak imalat sanayii, ulaştırma ve elektrik sektörlerinde ya da doğalgaza doğrudan belirli bir oranda karışım yoluyla kullanılabilir. Rafineri ve kimya sektöründe, cam, seramik, demir-çelik, çimento, gübre gibi sektörde kullanılacağını öngörüyoruz. İlerleyen aşamada, ulaştırma sektöründe özellikle uzun mesafe taşımacılığında kullanılması bekleniyor.

Emre Ata’ya göre hidrojen tüketimi yoğun olan sanayi alanlarında ihtiyacı karşılayabilecek düzeyde yeşil hidrojen üretim tesisleri kurulabilir: “Burada maliyetle ilgili bazı önemli belirleyici unsurları görmezden gelemeyiz. Küçük ölçekte yeşil hidrojen tesislerinin kurulumu, dolun ve depolama ekipmanları dahil edildiğinde oldukça yüksek maliyetlere erişmektedir. İhtiyaç duyulan alt bileşenlerin neredeyse tamamının da ithal olduğu hesaba katılınca maliyetin en azından kısa vadede engelleyici olduğunu söylememiz mümkündür. Bölgesel ölçekte sanayinin ihtiyacını karşılayabilecek orta ve yüksek düzeyde yeşil hidrojen tesislerinin kurulumu ve hidrojenin tüketim alanlarına boru hatlarıyla taşınması noktasında fizibilite anlamlı çıkabilir.”

5.4.3 Yeşil Hidrojenin Türk Savunma Sanayiine Etkileri

Son yıllarda savunma sanayiinde akıllı mühimmatların yerli imkânlarla üretilmesi için çalışmalarına hız veren Türkiye’de yeşil hidrojenin savunma sanayii üzerinde de geniş çaplı etkiler yaratması beklenmektedir. Bu konudaki çalışmalardan biri, hidrojen beslemeli itki sistemine sahip Hydro-GIDS Akıllı Savunma Sisteminin, 2022’de SAHA Expo’da sergilenmesi olmuştur. Türk savunma sanayii bünyesinde geliştirilen hidrojen itki akıllı savunma sistemi ile yeni nesil drone ve dolanan mühimmat tehditleri maliyet etkin ve hassas şekilde imha edilebilecektir.

Böylece Türk savunma sanayii bünyesinde STM ile Gürbağ Savunma Teknolojinin işbirliğiyle suüstü ve sualtı platformlara yönelik başlayan hidrojen enerjisi kaynaklı çözümlere bir yenisi eklenmiştir^[26].

Hydro-GIDS Akıllı Savunma Sistemi, bir römork üzerine yapılandırılan radar, elektro-optik, hidrojen itkili lançer ve haberleşme sistemlerinden oluşmaktadır. Gürbağ Savunma Teknolojileri tarafından geliştirilen özgün yazılım sayesinde asimetric hedeflerin otomatik olarak tespitini, teşhisini ve takibini yapabilen sistem, bünyesinde bulunduğu lançer aracılığıyla sabit kanatlı dolanan mühimmat ve benzeri hassas güdümlü mühimmatları ateşleyebilmekte, böylece kullanıcıya, hedef tespitinden imhasına kadar uzanan entegre bir çözüm sunmaktadır. Radar ve elektro-optik faydalı yükleri aracılığıyla elde ettiği hedef verilerini komuta-kontrol merkezine aktarabilen Hydro-GIDS’in en kritik özelliği ise bünyesinde bulundurduğu lançer sisteminde saklıdır. Genellikle patlatmalı şekilde kullanılan klasik lançer sistemleri ya tek atım ömrüne sahip olur ya da her atım sonrasında bakım ihtiyacı doğurur. Hydro-GIDS Sistemi’nin lançerinde ise hidrojen beslemeli itki sistemi kullanılmaktadır. Bu itki sistemi sayesinde hem mühimmat atımı sonrasında lançerler birden fazla kez kullanılabilen hem de atılan mühimmat çok daha az şoka maruz kalmakta ve böylelikle olası arıza riskleri ortadan kaldırılmaktadır. Gerçekleştirilen inovasyon sayesinde düşük enerji sarfiyatıyla anlık olarak hidrojen üretilmesi ve üretilen hidrojenin de itici enerji olarak kullanılması mümkün olacaktır. Birden fazla kullanılabilen lançerler sayesinde askeri birliklerin lojistik iş yükü azaltılırken aynı zamanda önemli miktarda zamansal ve bütçesel tasarruf sağlanacaktır. Hydro-GIDS Sistemi’nin, bu yıl içinde güvenlik güçlerinin kullanımına sunulması planlanmaktadır. Dolanan mühimmatlara yönelik olarak kullanılan karşı bir dolanan mühimmat yapılırken en önemli etken bunların fırlatılmasıdır. Çünkü drone’un bir şekilde itki kabiliyetine ihtiyacı vardır. Gürbağ Savunma Teknolojilerinin hidrojeni sisteme entegre etmesiyle, hidrojen dünyada ilk kez bir drone’un itkisinde kullanılmaya başlanmıştır. Böylece namı ömrü olmayan, devamlı atış imkânı ve hidrojenle fırlatılan bir sistem gündeme gelmiştir. Bu teknoloji sayesinde aynı zamanda 50-60 kilogramlık drone’a ve 1.450 kilografa kadar fırlatma kabiliyetine çıkılabilmektedir. Bu da seyir drone’ları ve uzun menzilli dolanan mühimmatları kullanmanın yolunu açmıştır^[26].

Emre Ata, savunma sanayiinin bazı niş teknolojilerin geliştirilmesinde üstlendiği öncü rolün hidrojen konusunda belli başlı noktalarda söz konusu olabileceğini belirterek, savunma sanayii açısından hidrojenin öneminden bahsedildiği gibi, hidrojen ekosistemi açısından savunma sanayiinin öneminden de bahsedebileceğine dikkat çekmektedir: “Özellikle ağır vasıta yakıt hücrelerinin geliştirilmesi konularında savunma sanayiinde yapılacak küçük ve büyük ölçekli projelerin bu alanda araştırma kurumlarını ve sivil sanayiye de destekleyeceğini söylemek mümkündür. Savunma sanayiinde sivil sektörlerde karşılaştığımız karbonsuzlaşma gibi bağlayıcı prensip anlaşmaları geçerli olmamaktadır. Dolayısıyla savunma

sanayiinde hidrojene yer verilmesi, bazı teknik ve taktiksel avantajların sağlanabilmesiyle mümkün olabilmektedir. Yakıt hücreleri, sessiz çalışma ve ağırlıkça yüksek enerji yoğunluğu özelliğiyle uzun menzil avantajlarıyla savunma sanayiinde uygulama alanları bulabilmektedir. Bu konularda yerli savunma sanayii firmalarımızın yapabileceği çalışmalar bulunmaktadır. Fakat her zaman olduğu gibi bu alanda da daha hızlı ve kararlı adımların atılması gerektiği aşikârdır.”

TEKSİS İleri Teknolojiler Genel Müdürü ve Enerji Sanayicileri ve İş İnsanları Derneği (ENSİA) Yönetim Kurulu Üyesi ve Ankara Temsilcisi Hüseyin Devrim, “Yeşil hidrojen, bildiğimiz en verimli, en sessiz, en titreşimsiz, termal ayak izi olmayan, en temiz elektrik üretim yöntemidir ve bu savunma sanayimiz için bir avantaj oluşturuyor” diyerek, yeşil hidrojen teknolojilerinin özellikle de savunma sanayiinde yerli üretim olarak yer alabilmesinin önünün açılması gerektiğini belirtmiştir^[24].

5.5 Türkiye’de Hidrojen Girişimciliğinin Getirdiği Fırsatlar

Türkiye’de yeşil hidrojene geçiş yolunda atılacak adımların sağlayacağı bir diğer önemli fayda da ülkenin girişimcilik ekosisteminin gelişmesine sağlayacağı pozitif etkiler olacaktır. Hidrojenin enerji sektörünün karbonsuzlaştırılmasında üstleneceği rol, girişimcilik için benzersiz fırsatlar yaratmaktadır. Hidrojen ekosisteminin oluşturulmasının üç ayağı, Ar-Ge, ticarileşme ve büyük ölçekli uygulamalar olarak sıralanabilir. Bu çerçevede, SHURA Enerji Dönüşüm Merkezinin “Türkiye’nin Ulusal Hidrojen Stratejisi için Öncelik Alanları” raporuna göre Türkiye, küresel seviyede yaşanan hidrojene dayalı dönüşüm eğilimine aşağıdaki alanlarda katılabilecektir^[2].

5.5.1 Araştırma ve Geliştirme

Hidrojenin çok yönlü kullanım alanlarının olması, enerji sektörünün bütününde büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Ancak, yeşil hidrojenin bir enerji taşıyıcısı olarak yaygın şekilde benimsenmesi, tüm değer zinciri boyunca uygun maliyetli teknoloji seçeneklerinin kullanılabilirliğine bağlıdır. Ar-Ge, teknolojide yenilikçilik ve güvenlik önlemleri olarak iki genel kategoriye ayrılabilir:

5.5.1.1 Teknolojide Yenilikçilik

Yeşil hidrojen üretim maliyetlerinin düşürülmesi için yenilikçilik son derece önemlidir. Hidrojen günümüzde, boru hatları, tırlar, kamyonlar ve yakıt tankerleri aracılığıyla sıkıştırılmış (gaz) veya sıvılaştırılmış (sıvı) olarak taşınmaktadır. Her iki taşımacılık yolu da nakliye mesafesi ve nihai kullanım uygulamalarına bağlı olarak önemli enerji ve maliyet yükü getirmektedir.

Bir diğer önemli unsur, alternatif hidrojen taşıma biçimlerini keşfetmektir. Mevcut boru hatları, hidrojen taşımak için doğrudan kullanılamamaktadır. Düşük maliyetli iyileştirme teknolojilerinin geliştirilmesi, hidrojen taşımacılığı için mevcut altyapının kullanım fırsatlarını doğurabilir. Kaplama malzemelerinin geliştirilmesi, standartların ve ekipmanların izlenmesinin yanı sıra boru içi robotlar gibi hızlı uygulama yöntemleri, hidrojen taşımacılığı

inovasyonuna öncülük edebilecek unsurlar arasında sayılmaktadır.

Hidrojen depolamasında mevcut düşük maliyetli, uzun vadeli seçenek, jeolojik depolama sahaları (tuz kubbeleri) kullanmaktır. Ancak jeolojik depolama, her yerde mevcut değildir. Hidrojen taşıyıcılarının geliştirilmesi ve sıvı organik hidrojen taşıyıcıları gibi depolama alternatifleri geliştirilmesi girişimciler için ayrı bir fırsat alanıdır. Araçlar için sıkıştırılmış hidrojen tankları gibi mobil uygulamalar da dahil olmak üzere, küçük ölçekli depolama uygulamalarında, uygun maliyetli ve güvenli seçeneklerin geliştirilmesi de buna eklenebilir.

Elektrik enerjisi uygulamaları için mevcut gaz türbinlerinin iyileştirilmesi, ulaştırma için yakıt hücreli araç teknolojilerinin geliştirilmesi ve ağır hizmet uygulamaları için yüksek performanslı makinelerin geliştirilmesi ayrı bir teknolojik inovasyon alanı olacaktır. Konut ve ticari uygulamalar için hidrojen veya hidrojen karışımı yakıt yakma ekipmanının geliştirilmesi ve/veya tadilat seçenekleri de son derece önem taşımaktadır. Sanayide ise hidrojen ve türevlerinin kullanımının artırılması ve hidrojenin doğrudan kullanımından yararlanacak yeni teknolojilerin geliştirilmesi diğer inovasyon alanları arasında yer almaktadır.

5.5.1.2 Güvenlik Önlemleri

Hidrojen, günümüz enerji sisteminde kullanılan geleneksel yakıtlardan daha güvenli bir şekilde taşınmasını ve kullanılmasını sağlayan bir dizi özelliğe sahiptir. Kullanılan tüm yakıtlar kendi özelliklerine bağlı olarak bir miktar tehlike yaratırlar, ancak yakıt sistemleri mühendislik kontrolleri ile tasarlanabilir ve güvenli taşıma ve kullanım sağlama amaçlı standartlar belirlenebilir. Ancak, uygulanabilirliği göstermek ve kamuoyundaki kabulünü artırmak için başarılı hidrojen projelerinin sayısının artmasına ihtiyaç vardır.

5.5.2 Ticarileştirme

Karbonsuzlaşma için hidrojen kullanımının önümüzdeki 10 yıl içinde keskin bir artışla enerji sektöründe belli bir paya erişmesi gerekmektedir. Sürenin kısalığı hidrojen teknolojisinin geniş alanlardaki kullanımını hızlandırma yönünde ticarileştirme için baskı oluşturmaktadır.

5.5.3 Cihaz Geliştirme

Konut ve ticari yapılarda hidrojen kullanımı, hidrojenle uyumlu beyaz eşyaların geliştirilmesine ihtiyaç duyacaktır. Söz konusu beyaz eşyalar arasında, ısıtıcılar, su ısıtıcıları, ocaklar ve fırınlar yer alacaktır.

5.5.4 Ulaştırmada Niş Uygulamalar

Hidrojenin mevcut kullanım uygulamaları, depolarda kullanılan fork-liftler, taksiler ve trenlerdir. Bu örnekler hem imalat hem de kullanım perspektifinden Türkiye pazarında kendilerine yer bulabilir. Başlangıçta oluşacak alt yapı gereksinimi, merkezi yakıt istasyonları kullanılarak hayata geçirilebilecek uygulamalara odaklanılarak en aza indirilebilir. Metrobüs, depo makineleri ve araçları, hidrojen pazarına giriş noktası olarak büyük bir potansiyele sahiptir.

5.5.5 İş Modelleri

Hidrojen değer zincirinde birçok aktör bulunmakta, bu da yeni iş modelleri oluşturmak için benzersiz fırsatlar yaratmaktadır. Hidrojen sanayii büyüdükçe, hidrojen değer zincirindeki farklı varlıklar için sahiplik modelleri, nakliye ve dağıtım ağı geliştirme, üretim, depolama ve yakıt ikmali istasyonlarının stratejik olarak konumlandırılması için planlama, güvenlik protokollerinin oluşturulması ve uygulanması, hidrojenli cihazlar için sertifika standartlarının geliştirilmesi, sektörler arası uygulamalar oluşturulması gibi yeni çözümler geliştirilmesi gerekmektedir.

5.5.6 Büyük Ölçekli Uygulamaya Geçiş

Hidrojenin karbonsuzlaşmadaki rolünün etkinliği, büyük ölçekte benimsenmesine bağlıdır. Hidrojenin potansiyelini artıracak birçok faktör vardır. Ar-Ge, düşük karbonlu hidrojen üretim tesislerinin hayata geçirilmesi, altyapı modernizasyonu ve hidrojenin çok sektörlü kullanımına yönelik teşviklere öncelik verilmesi gerekmektedir.

5.6 Türkiye'nin Yeşil Hidrojen İhracatı Fırsatları

Türkiye'nin gerekli yatırımları yapıp bir ekosistem oluşturabilmesi durumunda önemli bir yeşil hidrojen ihracatçısına dönüşmesi mümkündür. SHURA Enerji Dönüşümü Merkezinin, "Türkiye'nin Yeşil Hidrojen Üretim ve İhracat Potansiyelinin Teknik ve Ekonomik Açından Değerlendirilmesi" raporundaki hesaplamalara göre Türkiye, kendi yurtiçi ihtiyacının belirli bir bölümünü karşıladıktan sonra başka ülkelere 2050 yılında 1,5 ila 1,9 milyon ton aralığında yeşil hidrojen ihraç edebilecektir^[1].

Avrupa Yeşil Mutabakatı ile AB'nin birlik üyelerine ihracat yapan ülkelere yönelik hayata geçirdiği Sınırdan Karbon Uygulaması yeni bir dönem başlatmıştır. İhracatının yarısından fazlasını gerçekleştirdiği AB ile olan ticareti devam ettirebilmek için, Türkiye'nin imalat sanayiinin yeşil hidrojen gibi düşük karbonlu alternatiflerle üretimini karbondan arındırması bu nedenle daha önemli hâle gelmiştir^[2]. Türkiye bu uygulamayı yeşil hidrojene geçişte kendisi için bir motivasyon ve fırsata dönüştürmek zorundadır.

Heinrich Böll Stiftung Derneğinin "Avrupa Hidrojen Ekonomisine Güç Vermek – Türkiye'nin Rolü" başlıklı raporuna göre, potansiyel bir hidrojen ihracatçısı olarak Türkiye'nin bu bakımdan en büyük avantajlarından biri Avrupa'ya olan coğrafi yakınlığıdır. Bir diğer önemli etken ise Türkiye ile Avrupa arasındaki yaygın ticaret ve yatırım ilişkilerinin, hidrojene dayalı yeni bağlantıların kurulmasında olumlu bir etki yaratacak olmasıdır. AB, Türkiye'nin en büyük ticaret ortağı ve aynı zamanda ana yatırım kaynağı iken, Türkiye AB'nin altıncı büyük ticaret ortağıdır. Dolayısıyla hâlihazırda var olan ticaret ve yatırım kanalları ve yasal mevzuatın uyumlu hâle getirilmesi, hidrojen ticaretinin işlem maliyetlerini azaltmaya yardımcı olacaktır. Ayrıca Türkiye'nin Avrupa gaz ve elektrik şebekelerine entegre olması, Türkiye'yi hâlihazırda sınırlı taşıma kapasitesine sahip diğer potansiyel hidrojen ihracatçılarından öne çıkaracaktır. Bu bağlamda bir diğer avantaj ise Avrupa'nın en uzun altıncı boru hatları şebekesine sahip olan Türkiye'nin doğalgaz altyapısının hidrojen taşımaya

uygun hâle getirilebilecek olmasıdır. Ayrıca Türkiye'nin Güney Gaz Koridoru üzerindeki konumu da kritik önemdedir. Trans Anadolu Boru Hattı (TANAP), Bulgaristan ve Yunanistan aktarım hatları ve Trans Adriyatik Boru Hattı (TAP) hidrojen taşımak için kullanılabilir. Maliyet ve arza bağlı olarak, Türkiye ile Avrupa arasında yeni hidrojen boru hatları da inşa edilebilir ve Barselona ile Marsilya arasında 2030 yılına kadar tamamlanacak olan H2MED projesi gelecekte Türkiye'yi de kapsayan hidrojen boru hattı projeleri için bir model olabilir. Ayrıca Türkiye'nin, Ege ve Akdeniz kıyılarında hidrojen ürünlerinin sevkiyatı için karayolu ve demiryolu bağlantılarına sahip çok sayıda bölgesel limana sahip olması önemli bir avantaj sağlamaktadır. Rapora göre hidrojenin yaygınlaşması, Türkiye ile AB arasındaki enerji işbirliğinin dinamiklerini önemli ölçüde değiştirme potansiyeline sahiptir. Rusya Ukrayna Savaşı, enerji arz güvenliği bakımından da iki aktörün çıkarlarının uyuşmasını sağlamış, hidrojenin Türkiye-AB enerji ilişkilerinde yeni bir kazan-kazan senaryosunun temelini oluşturabileceğini göstermiştir^[27].

Bunlara ek olarak rapora göre Türkiye, Doğu Akdeniz'de hidrojen temelli bir bölgesel işbirliğinin kurulmasında önemli bir rol oynayabilir. Rusya Ukrayna Savaşı'nın Akdeniz gazına olan ilgiyi artırması hidrojene olan ilgiyle birleştiğinde ilk etapta mavi hidrojeni bir seçenek hâline getirebilir. Bu nedenle önce doğalgazın kullanılacağı, daha sonra hidrojen ihracatına geçiş yapacak geçiş boru hatları inşası gündeme gelebilecektir. Akdeniz'deki önemli güneş ve rüzgâr potansiyeli de bölgenin AB için bir yeşil hidrojen kaynağı olarak düşünülebileceğini gündeme taşımaktadır^[27].

Türkiye bir yeşil hidrojen ihracatçısına dönüşmeyi başardığında potansiyel pazarlarının başında Almanya gelmektedir. OECD Eski Daimi Temsilcisi ve Büyükelçi Mithat Rende, Alman Enerji Ajansının bir Türk şirketiyle hazırladıkları rapora ithafen, 2050 yılına kadar yaklaşık 75-120 milyar dolarlık bir yatırımla ciddi miktarda yeşil hidrojenin üretiminin Türkiye'de yapılabileceğini ve bir bölümünün de Almanya'ya ihraç edilebileceğini belirtmektedir^[28].

Almanya Ekonomi ve İklim Koruma Bakanlığı Müsteşarı Patrick Graichen, "Türkiye'nin sahip olduğu muazzam güneş ve rüzgâr enerjisi potansiyelini yeşil hidrojen üretiminde kullanarak, üretilen yeşil hidrojenin Türkiye'den Almanya'ya inşa edilecek boru hatlarıyla taşınması üzerine çalıştıklarını ifade etmiştir^[29]. Enerji sektörü paydaşlarının, Avrupa enerji sisteminin doğalgaza bağımlılığını azaltmak ve temiz enerji dönüşümüne katkı sağlamak amacıyla hidrojen boru hatlarının haritalandırıldığı European Hydrogen Backbone İnişiyatifine Türkiye'nin de dahil olması için çalışmalar yürütüldüğünü belirten Graichen, "Hidrojenin taşınması için bir boru hattı inşa edilmesi durumunda Türkiye'den çıkan hat Avusturya üzerinden Almanya'nın güneyine gelecek. İklim değişikliği ile mücadeledeki hedeflerden biri de fosil kaynakların 2035'ten sonra Almanya'da kullanılmamasıdır. Türkiye'de birçok sektör temsilcisi ile yaptığımız toplantılarda, Türkiye'de bir hidrojen piyasası oluşturma hedefi ana konu oluyor. Teknik olarak hidrojen üretmeyi

biliyoruz. Doğalgazla taşıma hakkında da bilgi sahibiyiz. Sadece hidrojenin büyük ölçekte taşınması için çok daha büyük tanklara ve boru hatlarına ihtiyacımız olacak” demektedir.

Uluslararası Hidrojen Geliştirme Programı (H2-Uppp) Projesi kapsamında, Ortadoğu ve Kuzey Afrika (MENA) bölgesinden Yurtdışındaki Alman Ticaret Odaları ve Alman Uluslararası İşbirliği Kurumu temsilcilerinin bir araya geldiği 2023’ün Nisan ayında düzenlenen bir toplantıda da Türkiye’nin yeşil hidrojen alanındaki potansiyeli ve sistem içindeki önemi üzerinde durulmuştur. Yeşil Hidrojen Üreticileri Derneği (H2DER) Başkanı Yusuf Günay, bu toplantıda Türkiye’nin yenilenebilir enerjideki potansiyelinin, yeşil hidrojen üretiminde de en değerli avantajı olduğunu vurgulayarak, AB’nin boru hatlarının gösterildiği “European Backbone” haritalamasına Türkiye’nin boru hatlarının da entegre edilmesi ve saf yeşil hidrojen için bir boru hattının gündeme alınması gerektiğine dikkat çekmiştir. Alman Ekonomi ve İklim Bakanlığı unsurlarıyla işbirliği içinde hidrojen sektörüne yönelik eğitim programları düzenleneceğini belirten Günay, Alman hidrojen sektörü paydaşlarıyla, Almanya’da bir araya geleneceğini ve Türkiye’ye yatırımları ve iş ortaklıkları için teşvik edici bilgilendirmeler yapılacağını açıklamıştır^[30].

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi Araştırma Koordinatörü Hasan Aksoy, “Hâlihazırda, Avrupa Yeşil Mutabakatı ‘Fit for 55’ paketi kapsamında 2030 yılına kadar 5,6 milyon ton yeşil hidrojen üretimi öngörüyordu. 2022 yılının Mayıs ayında yayınlanan ‘REPowerEu’ eylem planı kapsamında ise, buna ilave olarak 15 milyon ton yeşil hidrojen üretimi hedeflendi ve toplamda 20 milyon ton yeşil hidrojen tedariki planlanıyor. AB bu miktarın 10 milyon tonluk kısmını kendi içinde üretmeyi, diğer 10 milyon tonluk kısmını ise ithal etmeyi planlıyor. Böylelikle Rusya’dan alınan doğalgazın ikame edilebileceği belirtiliyor. Birçok ülke, ikili anlaşmalar yoluyla yeşil hidrojen ticaretine başlıyor” diyerek, küresel ölçekte yaşanan yeşil hidrojen ticaretindeki yeni gelişmelere dikkat çekmektedir. Aksoy, yeşil hidrojenin sunduğu bu fırsattan Türkiye’nin doğrudan yararlanabileceğine işaret ediyor: “Türkiye hem bulunduğu konum hem yüksek yenilenebilir enerji potansiyelleri ile yeşil hidrojen ticaretinde önemli bir oyuncu olabilir. Ancak planlamaların ve stratejilerin, 2053 yılı net sıfır emisyon hedefine uygun olarak belirlenmesi kritik olacaktır. Başka bir ifadeyle, Türkiye’nin öncelikle yeşil hidrojen ihtiyacını ve önceliklerini belirlemesi, sonrasında başka ülkelerle yapılacak ticaret ve işbirliklerine odaklanması faydalı olabilir. Bu bağlamda elbette Almanya başta olmak üzere Avrupa ülkeleri ile yapılacak işbirlikleri önemli olacaktır. Bu işbirlikleri, teknoloji transferi ve ekonomik faydalarının yanında, yeşil hidrojen ekosistemini geliştirmeye yönelik bir kaldıraç olabilir. Bulduğumuz coğrafya gereği üretilen yeşil hidrojenin maliyetinin avantajlı olduğunu söyleyebiliriz. Yeşil hidrojenin en önemli talep merkezi Avrupa kıtasına yakın olmamızın da getirdiği avantajlar olacaktır. İleride Türkiye’den Avrupa’ya olası yeşil hidrojen ihracında, hidrojenin taşınmasının getirdiği göreceli maliyet avantajları Türkiye’nin hidrojen ticaretinde önemli bir aktör olmasını

sağlayabilir. Ortadoğu ülkelerinden Avrupa’ya uzanan hidrojen ticaretinde ise Türkiye bir enerji koridoru görevi üstlenebilir.”

Prof. Dr. İbrahim Dinçer de dünyada yaşanan yeşil hidrojen ivmesiyle Türkiye’nin tarihi bir fırsat yakaladığı görüşünü paylaşmaktadır: “Türkiye dünyada ilk beşe girebilecek toplam yenilenebilir enerji ve yaptığımız çalışmaya göre 614 milyon tonluk hidrojen üretebilme potansiyeline sahip. Dünyada hidrojen ticaretine yönelik inanılmaz şekillenmeler var. Örneğin geçen yıl Almanya, Avustralya ile 2030’a kadar kilosu 10 dolardan 5 milyon ton, yani 50 milyar dolarlık hidrojen almak için anlaşma yaptı. Çünkü Avrupa’nın yeşil hidrojene ihtiyacı var. Yeşil hidrojen ekosistemini kurmak istiyorlar. Dolayısıyla komşusu olan Türkiye’nin bunu hemen Avrupa ve dünyanın diğer ülkeleriyle bir fırsata ve katma değere dönüştürmesi gerekiyor. Bunun için her bir sektöre yönelik eylem planlarının; teşvik ve desteklerin; altyapı kurulumu, teknoloji geliştirmeye yönelik Ar-Ge, inovasyon ve teknoloji çikarma desteklerinin oluşturulması gerekiyor. Hatta bana göre acilen bir hidrojen bakanlığı oluşturulmalı. Türkiye şu an itibarıyla Avrupa ülkeleriyle anlaşmalar yapmalıdır. Almanya, İtalya, Hollanda gibi Avrupa ülkeleri, birçok ülkeyle anlaşmalar imzaladı. Önümüzdeki dönemde artık dünya ekonomik sistemi hidrojen akışlarına göre şekillenecek. Yani hidrojen ticareti burada anahtar oyuncu. Dolayısıyla bizim de inanılmaz bir hızla hareket edip daha proaktif olarak Avrupa’ya ‘Yeşil hidrojen konusunda en büyük tedarikçiniz biz olacağız’ dememiz gerekiyor.”

5.7 Yeşil Hidrojenin Topyekûn Faydası

Yeşil hidrojenin sektörler üzerinde sağlayacağı çok sayıda olumlu katkı konusunda genel bir fikir birliğinin mevcut olduğu söylenebilir. Ancak tüm ekonomik faydalarının daha ötesinde yeşil hidrojene geçiş denkleminin belki de en belirgin iki faydası raporumuzda da sıklıkla değindiğimiz gibi iklim değişikliği ve özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için kritik olan enerji bağımsızlığı konularında olacaktır. ASPİLSAN Hidrojen ve Yakıt Pili Ar-Ge Merkezi Müdürü Emre Ata, konuya bu açıdan bakıldığında yeşil hidrojenden sektörel bir fayda beklemek yerine toplumsal ve hatta daha geniş çaplı olarak insanlık olarak fayda göreceğimizi söylemenin mümkün olduğunun altını çizmektedir. “Bu ‘fayda’ aslında bir ‘iyileşme’ olarak tezahür etmekten ziyade, emisyon salımının önlenmesi yoluyla zarar verici unsurların bertaraf edilmesi şeklinde hayatımıza girecektir. Dolayısıyla bu genel faydanın biraz ötesine geçerse, yeşil hidrojen ekosisteminden en çok faydalanacak sektörlerin, bu ekosistemin geliştiricileri/ekipman üreticileri ve sağlayıcıları olduğunu söylememiz doğru olacaktır. Hidrojen ekosistemi beraberinde yenilenebilir enerji santralleri ve batarya sistemleri de gerektirdiğinden, bu sektörlerin de faydalanıcı gruba dahil edilmesi uygundur. Diğer motivasyon başlığı olan ‘enerjide bağımsızlık’ açısından baktığımızda da benzer şeyleri tekrarlayabiliriz.”

Ata, bu noktada beliren avantajı ise şöyle tarif etmektedir: “Dünya kadar, petrol ve doğalgaz gibi yalnızca doğal kaynakları bulunan ülkeler enerji ihraç edebiliyordu.

Ancak başta güneş ve rüzgâr olmak üzere yenilenebilir/sürdürülebilir enerjinin yaygınlaşması, beraberinde hidrojen ekosistemini de büyüttüğünde, hidrojen ihraç edilecek duruma gelen ülkeler/firmalar da enerji ihracatçısı olabilecek. Bu da dünyadaki enerji dengesini derinden etkileyebilecek bir gelişmedir. Konuya aslında en çok bu açıdan bakarak büyük resmi görmeye çalışmak gerekir.”

6. TÜRKİYE’DE YEŞİL HİDROJENE GEÇİŞİN ÖNÜNDEKİ ZORLUKLAR

Türkiye’nin yeşil hidrojene geçişindeki en büyük zorluklar maliyetle ilgili konular, yabancı teknolojiye bağımlılık ve hidrojen sistemlerinin verimliliğidir. Maliyetlerdeki düşüş ölçek ekonomisine bağlı olmasına rağmen yerli teknolojiyi geliştirmek, yalnızca kurulu gücü artırmaya çalışmaktan daha fazla çaba gerektirecektir. Hidrojen üretiminin verimliliğinin artırılması, enerji sistemine en ekonomik şekilde entegrasyonunun sağlanması için de önemli rol oynayacaktır. Bu nedenle, elektriğin hidrojene çevrilmesi ve ardından hidrojenin yakılması, kısa ve orta vadede çok daha verimli ve ekonomik bir çözümdür. Bununla birlikte, yenilenebilir elektriğe dayalı yeşil hidrojen üretimi, fosil yakıt muadillerinden üretime kıyasla henüz maliyet açısından rekabet gücüne sahip değildir. Rekabet edebilmek için üretim maliyetlerinin, 2-3 dolar/kg seviyesine ulaşması gerekmektedir. Bu, elektrolizör ilk yatırım maliyetlerini azaltmak için teknolojik öğrenme ve ucuz yenilenebilir elektrik kaynaklarının sürekli tedariki yoluyla üretim maliyetlerindeki düşüşün devamını gerektirecektir. Ancak olumlu olan nokta yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik üretiminin maliyetinin, dünyanın geri kalanında olduğu gibi Türkiye’de de düşmekte olmasıdır^[2].

Yeşil hidrojenin kullanımında, sektöre özgü zorluklar da vardır. Gaz şebekesine hidrojen karıştırmak, hacmen yaklaşık yüzde 10-15 seviyelerine kadar şebekede değişiklik yapılmadan veya küçük değişikliklerle teknik olarak mümkündür. Ancak daha yüksek seviyelere erişmek için şebekede ek yatırımlar ve daha fazla Ar-Ge’ye ihtiyaç duyulacaktır. Doğalgaz karışımındaki hidrojenin payı arttıkça, hidrojenin enerji yoğunluğunun doğalgaza göre çok daha az olması sebebiyle, aynı enerji hizmetini sağlamak için taşınması gereken hacim miktarı da artmaktadır. Bu sebeple ek şebeke yatırımlarının yanı sıra, hidrojenin şebekeye verilme hacmi ve basıncında değişiklikler gerektirebilir ve bu da malzeme seçimini ve kullanımını etkileyebilir. Son olarak, gaz-hidrojen karışımlarını işlemek için modifikasyonlara veya nihai kullanım teknolojilerinde yeniliklere ihtiyaç duyulabilir^[2].

Bir başka zorluk ağır sanayide yerleşik düzen ve işleyişte değişiklikler yapma gerekliliğidir. Örneğin hidrojen bazlı ürünlerin Türkiye imalat sanayiine entegrasyonu, yeşil hidrojenin ve sentetik yakıtlar gibi türetilmiş ürünlerinin üretim şeklinin tedarik zinciri hakkında yeni bir anlayış gerektirmektedir. Sektör yapısını anlamak da çok önem taşımaktadır. Fosil yakıtları, yeşil hidrojen bazlı sentetik yakıtlarla ikame etmek, temelde bu tür yakıtları

yakmak için ısıtma ekipmanı mevcut olduğundan ve endüstriyel prosesler hiçbir değişiklik gerektirmediğinden nispeten basittir. Demir-çelik endüstrisi söz konusu olduğunda, Türkiye şu anda, elektrik ark ocaklarında çelik hurdası tedariki ve işlenmesi üzerine bir sanayi düzeni kurmuştur. Yeşil hidrojen bazlı çelik üretimi, demir cevherinden doğrudan indirgenmiş demirin üretilmesi ve bunun elektrik ark ocaklarına beslenmeden önce hurda ile karıştırılmasını gerektirir. Bu kanıtlanmış bir teknoloji olsa da Türkiye’deki ticarileştirilmesine uyum sağlamak için, çelik hurdayı işlemek için kurulan lojistik ve üretim altyapısı ve ticaret yollarının değiştirilmesi gerekecektir^[2].

Benzer zorluklar taşımacılık altyapısı için de söz konusudur. 2020’nin başında Türkiye, taşımacılık sektörünü, elektrikli araçlarla dönüştürme vizyonu benimsemiştir. Bu vizyon, şarj altyapısının genişletilmesi için yeni kentsel alanlar belirleneceği ve mevcut pompa istasyonlarının elektrikli araçlara yönelik şarj istasyonlarıyla değiştirileceği anlamına gelmektedir. Depolanabilen ve daha sonra yakıt hücreli araçlarda kullanılabilen hidrojen, çok sayıda otomobil üreticisi tarafından değerlendirilmektedir, ancak hidrojen tedariki kendine özel bir altyapıyı gerektirir. Bu, elektrikli araçlara yönelik altyapı ile potansiyel olarak rekabet edebilir ve ulaştırmanın genel dönüşüm stratejisinin bir parçası olarak planlanmadığı takdirde ilave yatırımlara ihtiyaç duyabilir.

Hasan Aksoy, mevcut durumda diğer hidrojen üretme yöntemlerine kıyasla daha maliyetli olmasının, yeşil hidrojenin en önemli zorluğu olduğunu belirtmektedir. Elektrolizörlerin kapasite kullanım oranlarının yeşil hidrojen üretim maliyetini etkileyen konular arasında bulunduğu işaret eden Aksoy, önümüzdeki dönemde özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi kaynakları ile elektrolizör maliyetlerindeki düşüşlerle yeşil hidrojen üretim maliyetinin diğer teknolojilere kıyasla daha rekabetçi olacağını öngördüğünü belirtmektedir. Aksoy, diğer zorlukları şöyle sıralamaktadır: “Hidrojenin yakma prosesi sonucu tekrar su elde edilse de, temiz su kullanımının planlanması ve deniz suyunun tuzdan arındırılarak kullanılması değerlendirilmesi gereken konular arasında. Bir diğer önemli konu, elektrolizör kurulumlarına paralel şekilde, yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişiminin planlanması gerekiyor. Hidrojen projelerine finansman sağlanması da aşılması gereken engellerden. Türkiye özelinde hidrojen yatırımlarının hızlanmasını sağlayacak düzenlemelerin ve mevzuatın henüz net olmaması yatırımcılar için önemli engellerden biri. Yerli elektrolizör teknolojimizin henüz istenilen ölçeklerde olmaması da teknolojiye erişim anlamında bir engel oluşturuyor. Finansmana erişim ve hidrojen için öncelikli kullanım alanlarına göre belirlenecek teşviklerin eksikliği de zorlukların başında geliyor.”

Aksoy, hâlihazırda Türkiye’de küçük ölçekli elektrolizör üreten şirketlerimizin bulunduğunu ve bu şirketlerin önümüzdeki süreçte büyük ölçekli elektrolizör üretimine odaklandıklarını hatırlatarak, bu noktada kamuya da önemli görevler düştüğüne dikkat çekmektedir: “Yeşil hidrojen ekosistemini geliştirmesini sağlayacak finansal ya da piyasa temelli desteklerin oluşturulması önemli olacaktır. Bunların yanında elektrolizör teknolojilerinin

Türkiye’de yerli olarak üretilebilmesi için gerekli Ar-Ge çalışmalarına destek verilmesi, kamunun ve özel sektörün Türkiye’nin Otomobili Projesinde olduğu gibi yerli üretimi ve teknoloji transferini hedefleyen işbirliklerine öncülük etmesi önemli bir kaldıraç görevi sağlayabilir. Ülkeler arası kurulacak işbirlikleri de bu bağlamda çok yönlü faydalar sağlayabilir.”

7. TÜRKİYE’DE YEŞİL HİDROJEN EKOSİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ İÇİN ÖNERİLER

Türkiye’nin yeşil hidrojen üretimine yönelik yolculuğuna özel sektörün öncülük etmesi gerekmektedir. Ölçek ekonomisinin yaratılması için de ciddi bütçelere ve zamana ihtiyaç vardır. Dolayısıyla öncelikli hedeflerin başında özel sektörün rolünün pekiştirilmesi için adımların atılması gelmektedir.

Türkiye, yenilenebilir enerjide giderek artan güçlü bir pozisyon edinmeye devam etse de güneş ve rüzgâr enerjisinin değişken yapıları bu kaynakları belli zaman aralıklarında sınırlandırmaktadır. Bu kaynaklardan daha iyi yararlanabilmek depolama sistemlerinin geliştirilmesini gerektirmektedir. Bataryalı depolama sistemleri, kısa vadeli depolama açısından sorunun ancak bir kısmını çözebildiğinden esas ihtiyaç, mevsimsel depolamanın geliştirilmesi alanında bulunmaktadır.

Bir başka ihtiyaç hidrojen üretimine yönelik olarak elektrik şebekesi yatırımlarının en aza indirmek için strateji geliştirmede tedarik, altyapı ve talep potansiyeli haritalama çalışmalarının yapılması gerekliliğidir. Bu sayede tedarik ve talep unsurlarının birbirlerine yakınlıklarının yarattığı avantajlar kullanılabilir. Bu durum hidrojenin lojistiğiyle ilgili maliyetleri en aza indirecek, elektroliz yoluyla hidrojen üretiminde en düşük maliyetli elektrik kaynaklarının kullanımını sağlayacaktır. Elektrik ve gaz sistemlerinin hidrojen yoluyla entegrasyonunun gerçekleştirilebilmesi için de çalışmaların yapılması gerekecektir. Yenilenebilir kaynaklardan üretilen hidrojen Türkiye’nin doğalgaz şebekesine beslenebilir ve belli bir süre için depolanabilir. Doğalgaz/hidrojen karışımı ayrıca doğalgaz kombine çevrim santralleri tarafından kullanılabilir. Gaz fazlası, Tuz Gölü veya Silivri doğalgaz depolama tesislerinde depolanabilir^[2].

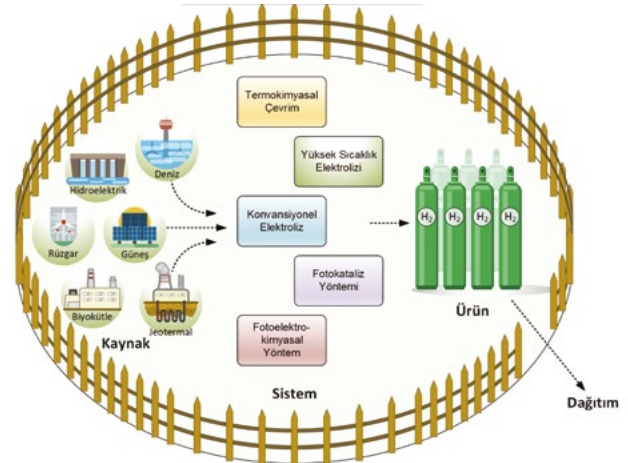
Yeşil hidrojenden beklenen potansiyel katkıların somutlaşabilmesi için çok yönlü eylemlerin hayata geçirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda Hidrojen Teknolojileri Derneğinin yayınladığı Türkiye İçin Hidrojen Teknolojileri Yol Haritası raporunda Türkiye’nin yeşil hidrojen ekosisteminin yaratılması için bazı öneriler sunulmuştur^[10]:

- Araştırma, inovasyon ve teknoloji geliştirme konularında hidrojen ile direkt olarak ilgili destek programları ivedilikle hayata geçirilmelidir.
- Gerekli insan kaynağını yetiştirmek için meslek liseleri ve meslek yüksekokullarında hidrojen teknolojilerine yönelik programlar acil olarak oluşturulmalı,

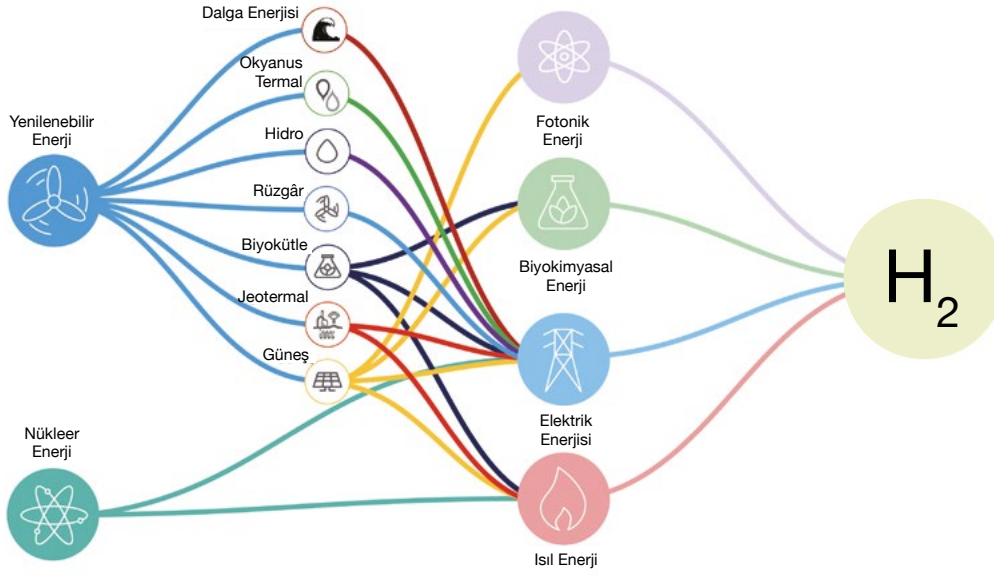
üniversitelerde ise bütün programlarda hidrojen teknolojilerine ve hidrojen ekonomisine yönelik dersler oluşturulmalıdır.

- Özellikle küçük veya büyük uygulamalara yönelik proje destekleri oluşturulmalı ve Sanayi Bakanlığının bütün birimleri diğer bakanlıklar ile birlikte çalışarak buna yönelik bir “Türkiye Sanayi Eylem Planı” oluşturulmalıdır.
- Türkiye, hidrojen çiftlikleri programını yenilenebilir enerji esaslı hidrojen üretimini içerecek şekilde acil olarak başlatmalıdır. Bu çiftlikler için kapasite, depolama yöntemleri ve dağıtım süreçleri tanımlanabilir.
- Bakanlık bünyesinde sanayi ile ortak çalışmaları teşvik ve koordine eden bir kurul oluşturulmalıdır.
- Hidrojen teknolojileriyle ilgili girişimcilik eğitim ve destek programları oluşturulmalıdır.
- Türk Standartları Enstitüsünde hidrojene yönelik standartları ve yönetmelikleri hazırlayacak bir çalışma grubu acilen oluşturulmalıdır.
- İş Sağlığı ve Güvenliği yasasında hidrojenin üretimi, depolanması, taşınması ve son kullanımına yönelik maddeler eklenmelidir.
- Hidrojen sistemlerine yönelik yönetmelikler oluşturulmalı, akreditasyon ve sertifikasyon merkezleri kurulmalıdır.
- Hidrojen teknolojilerine yönelik eylem planları Türkiye’nin 2023, 2053 ve 2071 hedeflerindeki yol haritalarında da yer almalıdır.
- Basılı ve sosyal medya kanalları aktif olarak kullanılarak hidrojen ekonomisine yönelik bilgilendirmelerin yapılabileceği kanallar oluşturulmalıdır.

Hidrojen Teknolojileri Derneğinin “Türkiye İçin Hidrojen Çiftliği Konsepti” başlıklı bir başka raporu ise Türkiye’de hidrojen çiftliği konseptinin geliştirilip yaygınlaştırılması için çalışmaların derinleştirilmesi gerektiğine vurgu yapmaktadır. Hidrojenin üretiminden dağıtıma hazır hâle getirilmesine kadar olan işlemlerin yapıldığı yere “Hidrojen Çiftliği” denilmektedir. Bir bölgedeki rüzgâr ve güneş çiftlikleri, yenilenebilir elektrik üretimi için ana potansiyel



Şekil 6: Hidrojen çiftliği konsepti^[4].



Şekil 7: Yeşil hidrojen yol haritası^[4].

kaynaklardır. Jeotermal, biyokütle, hidroelektrik ve dalga enerjileri dahil olmak üzere mevcut yardımcı kaynaklar, yeşil hidrojenin üretildiği yenilenebilir bir çiftliğin diğer ana bileşenlerini oluşturur (Şekil 6).

Temiz bir şekilde hidrojen üretmek için sürdürülebilir enerji gerekmektedir. Bunlar ise güneş, rüzgâr, hidroelektrik, gelgit (okyanus akıntıları da dahil), jeotermal, biyokütle ve nükleer enerjidir. Dikkatli kullanıldığında bu kaynaklarla elektrik, ısıl enerji, fotonik enerji ya da biyokimyasal enerji üretilebilmektedir (Şekil 7).

Fosil yakıt kaynakları çok sınırlı, ancak yenilenebilir enerji potansiyeli yüksek olan Türkiye, bu amaç için uygun bir aday olarak değerlendirilmektedir. Hidrojen Çiftliği Raporu, Türkiye'nin her ilde hidrojen çiftlikleri oluşturarak ülkenin toplam enerji ihtiyaçlarını giderip, ihtiyaç fazlası yeşil hidrojeni ihraç etmesinin mümkün olduğuna dikkat çekerek, buna yönelik gerekli hukuki, teknik, mali ve sosyal düzenlemelerin acilen yapılmasını ve teşvik mekanizmalarının kurulmasını önermektedir^[4].

Prof. Dr. İbrahim Dinçer Türkiye'nin 81 ilini kapsayan çalışmalarının sonucunda, hidrojen çiftlikleri ile yenilenebilir enerjiye dayalı yeşil hidrojen üretim ekosisteminin kurulmasıyla Türkiye'nin kendi ihtiyaçlarını karşıladıktan sonra 614 milyon tonluk bir hidrojen üretim potansiyeli bulunduğu sonucuna ulaştıklarının altını çizmektedir: "Bu büyük bir imkân ve bunu mutlaka katma değere dönüştürmemiz gerekiyor. Şu an itibarıyla dünyada hidrojen tüketimi 118 milyon ton ve yıllık 614 milyon tonluk bir üretim potansiyeline sahip olmak Türkiye'ye de büyük bir güç sağlayacak, aynı zamanda hidrojen ticaretinde de anahtar ve öncü bir oyuncu olma imkânı sağlayacak. Buna adapte olabilmek için hidrojen çiftliklerine yönelik yasal düzenlemelerin ve yönetmeliklerin mutlaka yapılıp, yenilenebilir enerji çeşitliliğinin bütün kullanımını hidrojene yönelik olarak düzenlemek gerekiyor."

Prof. Dr. Dinçer, Türkiye'de hidrojen ekosisteminin kurulabilmesi için önerilerini ise şöyle sıralamaktadır: "Hidrojenin üretiminden kullanımına kadar bütün süreçleri kapsayacak ve bu süreçlerin içindeki anahtar oyuncuların mutlaka bir araya gelerek üst seviyeli acil eylem komitelerinin kurulması gerekiyor. Anahtar oyuncuların ilki kamudur. Burada ilgili birim ve bakanlıkların harekete geçmesi gerekir. Bu komite bir çalışma stratejisi ile bir eylem planı oluşturmalıdır. Bunun için de ekosistemi kurmamız gerekiyor. Kamunun yanında özel sektör, üniversite ve araştırma kurumlarının içinde olduğu akademik camia ve STK'lar bu komitede yer almalıdır. Bu komite öncelikleri belirlemelidir. Bizim önceliklerimiz sektörün inanılmaz derecede ihtiyaç duyduğu insan kaynağının oluşturulması için eğitim ve öğretim programlarının veya buna yönelik açılacak kısa süreli kurslar veya ilgili programların mutlaka oluşturulmasıdır. Bu ekosistemde üretimden tüketime kadar özel sektör dinamo görevini göreceği için özel sektörü bunun içine çekebilecek yönetmelikleri ve teşvik ve destek programlarını acilen oluşturmamız gerekiyor. Bu çok hızlı yaşanan bir dönüşüm. Karbon çağından hidrojen çağına geçiş çok hızlı seyrediyor. Bunun yanında kurumsal yapıların oluşturulması ve sürdürülebilir fonlama mekanizmalarının mutlaka kurulması gerekiyor. Aynı zamanda finans ekosisteminin de düzenlenmesi gerekiyor. AB, 2023'ün Mart ayında hidrojen bankasını kurdu. Hidrojen borsası henüz teknik itibarıyla kurulmadı. Biz hızlı davranabilirsek hidrojen borsasını kurabiliriz. Bunun yanında Türkiye'nin mutlaka bir teknoloji hamlesi oluşturması gerekiyor. Hidrojen teknolojileri bu ülke için olmazsa olmazdır. Bizim kaynak anlamında problemimiz yok; yenilenebilir enerji kaynakları anlamında büyük bir potansiyele sahibiz ama teknolojik kabiliyetlerimizi geliştirip teknolojilerimizi üretmezsek bu sefer teknoloji üzerinden dışarıya bağımlı olmak gibi

sıkıntılı bir süreç yaşanabilir. Dolayısıyla bizim üretim, depolama-taşımaya ve kullanım olmak üzere üç ayak üzerinde bütün sektörün gelişmesine imkân verebilecek teknolojik kabiliyetleri kazanmamız gerekir. Bunun için de teşvik ve destek programlarının mutlaka oluşturulması gerekiyor. Ülke olarak gerek yurtiçinde gerekse de yurtdışında hem teknik hem bilimsel boyutta hem de farklı sektörlerde görev alan yöneticiler boyutunda insan kaynağımız var ama bu insan kaynağından faydalanma mekanizmalarının oluşturulması gerekiyor. TÜBİTAK, çeşitli bakanlıklar ve Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumunun (TENMAK) öncü rolü bu bakımdan önemlidir, bunları mutlaka mobilize edip hayata geçirmemiz gerekiyor.”

Prof. Dr. Dinçer elektrolizörler konusunda da Türkiye'nin eylem adımlarını hayata geçirmesi için acele etmesi gerektiğini savunmaktadır: “Elektrolizör teknolojilerinde PEM esaslı olan polimer elektrolit membranlı veya alkalın esaslı elektrolizörler şu anda öne çıkmış durumda. İlk başta elektrolizörleri yurtdışından getirmemiz gerekiyor. Ülke olarak 90'lı yıllardaki teknoloji, 2000'li yıllardaki inovasyon, 2010'lu yıllardaki -göreceli olarak hızlı hareket edebildiysek de- dijitalleşme süreçlerini bir nevi iskaladık. Özellikle teknoloji ve inovasyonda geri kalmış olmamız bizi 2020 itibarıyla hidrojen çağında bir nevi geride bıraktı. Dolayısıyla bizim acilen teknolojik yol haritasını hayata geçirip teknolojileri geliştirmemiz gerekiyor. Bugün eğer siz bir elektrolizör siparişi veriyor olsanız, size altı ay ile bir buçuk sene arasında bir süre veriliyor.”

İdeaport'un “Enerji Depolama Teknolojileri Hidrojen Enerjisi” başlıklı raporunda yer alan bir diğer öneri, 10 yıl boyunca rüzgâr ve güneş enerjisi için sağlanan proje ve personel teşviklerinin bir benzerinin hidrojen teknolojilerinde çalışan firmalar için de kamu eliyle yapılmasıdır. Aynı raporda ASPİLSAN Enerji ve Tüpraş gibi yeşil hidrojene yatırım yapan firmaların sayılarının artırılması yanında; savunma sanayii kuruluşları, özel sektör firmaları, TÜBİTAK gibi çeşitli araştırma kurumları ve üniversitelerin bir araya getirilerek dijital bir platform oluşturulması da öneriler arasında yer almıştır. Böylece tedarikçilerin ya da çözüm önerisi sunan kuruluşların ortak bir veritabanına eklenebileceği, konu hakkındaki gelişmelerin dijital platform üzerinden duyurulabileceği, diğer kuruluşlardaki örneklerle ve güncel bilgiye daha kolay ve şeffaf bir iletişim kanalı üzerinden erişimin sağlanabileceği vurgulanmıştır³¹.

SHURA Araştırma Koordinatörü Hasan Aksoy, Türkiye için yeşil hidrojenin öncelikli kullanım alanlarının belirlenmesi ve bu sektörlerde yeşil hidrojen ekosisteminin gelişmesini sağlayacak finansal ya da piyasa temelli desteklerin oluşturulmasının önemli olacağına işaret etmektedir: “Bu bağlamda düzenlemelerin ve mevzuatın enerji, sanayi ve ulaşım sektörleri dinamiklerini de dikkate alarak bütüncül olarak belirlenmesi ve teknoloji geliştirme/erişim konuları kapsamında stratejilerin oluşturulması hedeflenen öncelikli konuların arasında yer alıyor.”

ASPİLSAN Hidrojen ve Yakıt Pili Ar-Ge Merkezi Müdürü Emre Ata ise yerli kaynakların ve teknolojinin

kullanımı noktasına dikkat edilmesi gerektiği uyarısında bulunmaktadır. Türkiye'de hidrojen teknolojileriyle ilgili çalışmalara 90'lı yılların sonlarında başlanmasına rağmen pahalı bir çalışma konusu olması, sanayiden yeterli desteğin alınamaması ve pazarın oluşmaması sebebiyle bu çalışmalarda devamlılık sağlanamaması nedeniyle dünyadaki teknoloji seviyesi ile aramızın 5-10 yıl kadar açıldığını belirten Ata şu önerilerde bulunmaktadır: “Yeşil hidrojen ekonomisine adapte olunmasının iki ana sacayağı bulunuyor; bunlardan biri ‘pazar yaratılması’, diğeri ise ‘teknoloji seviyesini yükseltmek’. Bunlardan yalnızca pazar kısmına odaklanılır ve teknolojik gelişim yeterli hızla desteklenmezse, biz ülke olarak teknoloji geliştiren ülkelerin pazarı olmaktan öteye gidemeyiz. Dolayısıyla hem teknolojik hem sosyoekonomik anlamda gereklilikleri yerine getirmek gerekmektedir. Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası'nda sunulan 20 adet çözüm önerisi, bu gereklilikleri temel düzlemde karşılayabilir niteliktedir. Yeşil hidrojen ekosistemine adapte olunabilmesi için öncelikle dünyadaki mevcut trendi yakalamamız şarttır. Mevcut trendin yakalanmasını müteakiben ortaya inovatif çözüm önerileri konulabilir, alt sektörlerde liderlik hedeflenebilir.”

Prof. Dr. İbrahim Dinçer bu noktada Türkiye'de insanların birlikte çalışmayı başarması gerektiğinin altını çizmektedir: “Birlikte çalışmayı başarabilirsek 2053 hedeflerini rahatlıkla sağlarız, aynı zamanda sektörleri geliştirebiliriz, hidrojene dayalı bir ekosistemi başarıyla kurarız ve dünyada bir ana oyuncu oluruz. Yani özellikle hidrojen boyutunda enerji ihraç eden bir ülke konumuna da ulaştığımız oluruz. Bu noktada birlikte çalışmayı, birlikte üretmeyi ve birlikte başarmaktan mutluluk duymayı öğrenmemiz gerekiyor.”

8. SONUÇ

Dünyada yeşil hidrojen, küresel iklim değişikliğiyle mücadelede katkı sağlayacak en önemli unsurlardan biri ve geleceğin enerjisi olarak görülmektedir. Bunun yanında jeopolitik dengelerdeki dalgalanmalar ülkeleri kendi enerji çeşitliliklerini ve enerji arz güvenliklerini sağlamaya, sadece belli ülkelere enerji temin etmekten hızla uzaklaşma yönünde stratejiler geliştirmeye itmektedir.

Başta Avrupa olmak üzere ABD'den Avustralya'ya dünyada 40'tan fazla ülke bir ulusal hidrojen stratejisi belirlemiş ve yeşil hidrojenin enerji sahnesinde en önemli unsurlardan biri olacağı 2050'ler için hazırlıklarını büyük yatırımlarla başlatmıştır. Bu doğrultuda ülkeler ve bölgeler arası işbirlikleri için düğmeye basılmış, kıtalararası boru hatları projeleri devreye alınmıştır.

Hidrojen sektörünün son birkaç yılda gösterdiği büyüme hızı, yeşil hidrojenin ileride enerji politikalarının önemli bir parçası olacağını göstermektedir. Hidrojen, ulusal ekonomilerin karbonsuzlaştırılmasını kolaylaştırmanın yanı sıra, bu değere sahip olanlar ve olmayanlar arasında kurulacak yeni karşılıklı bağımlılıklar vasıtasıyla enerji dönüşümünün yeni jeopolitiğinin de kritik bir unsuru olabilecektir.

Günümüzde anlamlı bir yeşil hidrojen üretimi bulunmayan Türkiye'nin buna rağmen orta vadede bir yeşil hidrojen üreticisi hatta ihracatçısı olması mümkündür. Bu doğrultuda 2023'ün Ocak ayında Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası yayınlanmış ve hedefler belirlenmiştir. Uzmanlar kronik cari açık probleminin önemli bir bölümü enerji ithalatından kaynaklanan Türkiye açısından, dünyada yaşanan yenilenebilir enerji devrimi ve özellikle yeşil hidrojene yönelik ivmenin büyük bir fırsat olduğu yönünde birleşmektedir. Yeşil hidrojen

konusunda gerekli adımlar atıldığı takdirde Türkiye'nin enerji ithal eden bir ülke konumundan enerji ihraç eden bir ülke konumuna yükselmesi olasılık dahilindedir. Başka bir ifadeyle, Türkiye'nin yenilenebilir enerji alanında gösterdiği başarılı ivmeyi yeşil hidrojen de göstermesi mümkündür. Türkiye'nin yeşil hidrojen yolculuğunda öncelikli olarak strateji belgesinde belirtilen hedeflere yönelik olarak acil bir eylem planı açıklaması, destek ve teşviklerle sektörün önünü açması ekonomik açıdan olduğu kadar iklim hedeflerine ulaşmak bakımından da faydalı sonuçlar doğuracaktır.

KAYNAKÇA

- [1] SHURA, (2021), "Türkiye'nin yeşil hidrojen üretim ve ihracat potansiyelinin teknik ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi", <https://shura.org.tr/wp-content/uploads/2021/12/SHURA-2021-12-Turkiyenin-Yesil-Hidrojen-Uretim-ve-Ihracat-Potansiyelinin.pdf>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [2] SHURA, (2021), "Türkiye'nin Ulusal Hidrojen Stratejisi için Öncelik Alanları", <https://shura.org.tr/wp-content/uploads/2021/02/SHURA-2021-02-Turkiyenin-Ulusal-Hidrojen-Stratejisi-icin-Oncelik-Alanlari.pdf>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [3] STM ThinkTech, (2023), "ENERJİ KRİZİNİN ÇÖZÜMÜNDE YEŞİL HİDROJEN DEVRİMİ II: Dünyada Yeşil Hidrojen Endüstrisi ve Politikaları", (23 Haziran 2023), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/enerji-krizinin-cozumunde-yesil-hidrojen-devrimi-ii-dunyada-yesil-hidrojen-endustrisi-ve-politikalari>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [4] Diñçer, İbrahim; Javani, Nader; Karayel, Görkem Kubilay; (2021), "TÜRKİYE İÇİN HİDROJEN ÇİFTLİĞİ KONSEPTİ RAPORU, *Hidrojen Teknolojileri Derneği*, https://www.hidrojenteknolojileri.org/HTD/Turkiye_icin_Hidrojen_Ciftligi_Konsepti_Raporu.pdf. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [5] Dünya, (2023), "Enerji krizi yeşil hidrojen yatırımlarını artırdı", (2 Mart 2023), <https://www.dunya.com/surdurulebilir-dunya/enerji-krizi-yesil-hidrojen-yatirimlerini-artirdi-haberi-687097>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [6] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2023), "Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası", (Ocak 2023), https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/SGB/tr/Kurumsal_Politikalar/HSP/ETKB_Hidrojen_Stratejik_Plan2023.pdf. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [7] TENMAK, (2020), "ENERJİDE ARAMA BULUŞMALARINI HİDROJEN", <https://www.tenmak.gov.tr/boren/uploads/dosyaYoneticisi/479628-enerjide-arama-bulusmalari-hidrojen-program.pdf>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [8] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2023), "Türkiye Hidrojen Teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası", (Ocak 2023), "TÜRKİYE ULUSAL ENERJİ PLANI", https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [9] TRT Haber, (2023), "Bakan Donmez, Türkiye'nin hidrojen yol haritasını paylaştı", (19 Ocak 2023), <https://www.trthaber.com/haber/ekonomi/bakan-donmez-turkiyenin-hidrojen-yol-haritasini-paylasti-739598.html>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [10] Diñçer, İbrahim; Erođlu, İnci; Öztürk, Merve; (2021), "TÜRKİYE İÇİN HİDROJEN TEKNOLOJİLERİ YOL HARİTASI", *Hidrojen Teknolojileri Derneği*, https://www.hidrojenteknolojileri.org/HTD/Turkiye_icin_Hidrojen_Teknolojileri_Yol_Haritasi_Raporu_2021.pdf. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [11] Güney Marmara Kalkınma Ajansı, (2023), "'HYSouthMarmara Hidrojen Vadisi Projesi ve Güney Marmara Hidrojen Kıyısı Platformu GÜDÜMLÜ PROJELERİ'nde İmzalar Atıldı", (2 Mayıs 2023), <https://www.gmka.gov.tr/haber/hysouthmarmara-hidrojen-vadisi-projesi-ve-guney-marmara-hidrojen-kiyisi-platformu-gudumlu-projeleri-nde-izmalar-atildi>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [12] Güney Marmara Kalkınma Ajansı, (2023), "'South Marmara Hydrogen Shore - HYSouthMarmara' Hidrojen Projesi'nin Uygulama Dönemi Başladı", (6 Temmuz 2023), <https://www.gmka.gov.tr/haber/south-marmara-hydrogen-shore---hysouthmarmara-hidrojen-projesinin-uygulama-donemi-basladi>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [13] SOLARİST, (2023), "'HYSouthMarmara Projesi' Temiz Hidrojen Ortaklığı kapsamında Avrupa Komisyonu Tarafından Desteklenmeye Hak Kazandı", (31 Ocak 2023), <https://www.solar.ist/temiz-hidrojen-ortakligi-kapsaminda-hysouthmarmara-projesi-avrupa-komisyonu-tarafından-desteklenmeye-hak-kazandi/>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [14] İSO Yeşil Blog, (2022), "Türkiye'nin ilk yeşil hidrojen tesisi kuruluyor", (21 Şubat 2022), <https://www.isoyesilblog.com/turkiyenin-ilk-yesil-hidrojen-tesisi-kuruluyor/>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [15] Güney Marmara Kalkınma Ajansı, (2023), "'Güney Marmara Hidrojen Kıyısı Platformu' GÜDÜMLÜ PROJESİ'nde İmzalar Atıldı", (20 Mart 2023), <https://www.gmka.gov.tr/haber/guney-marmara-hidrojen-kiyisi-platformu-gudumlu-projesinde-izmalar-atildi>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [16] temiz enerji, (2023), "Hidrojen vadisinde yeşil hidrojenin pilot üretimine başlandı", (19 Nisan 2023), <https://temizenerji.org/2023/04/19/hidrojen-vadisinde-yesil-hidrojenin-pilot-uretimine-basladi/>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [17] Yeşil Ekonomi, (2022), "Tüpraş yeşil hidrojen üretimi için Entek Elektrik'i devraldı", (26 Ağustos 2022), <https://yesilekonomi.com/tupras-yesil-hidrojen-uretimi-icin-entek-elektriki-devraldi/>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [18] TÜPRAŞ, (2021), "Tüpraş 2050'de Karbon Nötr Hedefiyle Stratejik Dönüşüm Yolculuğunu Başlattı.", (24 Kasım 2021), <https://www.tupras.com.tr/basin-bultenleri?detay=basin-bulteni-24112021>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [19] Akbaş, Yusuf; (2023), "Enerjisa Üretim, Marmara Denizi'nden yeşil hidrojen üretiyor", *Donanım Haber*, (24 Ocak 2023), <https://www.donanimhaber.com/enerjisa-uretim-marmara-denizi-nden-yesil-hidrojen-uretiyor--159737>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [20] Bloomberg, (2022), "Enerjisa Üretim, Marmara Denizi'nden yeşil hidrojen üretiyor", (8 Kasım 2022), <https://www.bloomberght.com/smart-gunes-yesil-hidrojen-sirketi-kuracak-2318788>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [21] Sabancı, (2023), "Sabancı Ventures yeşil hidrojen ekipman üreticisi Singapur merkezli SungreenH2'ye 800 bin dolar yatırım yaptı", (19 Nisan 2023), <https://www.sabanci.com.tr/haber-detay/>

- sabancı-ventures-yesil-hidrojen-ekipman-ureticisi-singapur-merkezli-sungreenh2ye-800-bin-dolar-yatirim-yapti. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [22] *Investing*, (2023), “Türkiye’yi yeşil dönüşümde üst sıraya taşıyacak hidrojen için YEO Teknoloji de çalışmalara başladı”, (25 Ocak 2023), <https://tr.investing.com/news/markets/turkiyeyi-yesil-donusumde-ust-sraya-tasiyacak-hidrojen-icin-yeo-tekno-loji-de-calsmalara-baslad-2421844>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [23] *ASPİLSAN*, (2022), “ASPİLSAN Enerji and XGEN, the “Green Hydrogen Generation Energized with Innovative Small Scale Wind Turbine” Project will be carried out as part of the Green and Blue Transformation Program, with assistance from the zmir development agency.”, (1 Eylül 2022), <https://bit.ly/4471yMN>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [24] Sarsın, Özlem; (2023), “Enerji ihracatçısı olmamızın tek anahtarı yeşil hidrojen”, *Dünya*, (23 Haziran 2023), <https://www.dunya.com/sectorler/enerji/enerji-ihracatcisi-olmamizin-tek-anahtari-yesil-hidrojen-haberi-696803>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [25] *STM ThinkTech*, (2023), “ENERJİ KRİZİNİN ÇÖZÜMÜNDE YEŞİL HİDROJEN DEVRİMİ I: Sürdürülebilir Gelecekte Yeşil Hidrojenin Yeri”, (14 Nisan 2023), <https://thinktech.stm.com.tr/enerji-kri-zinin-cozumunde-yesil-hidrojen-devrimi-i-surdurulebilir-gele-ekte-yesil-hidrojenin-yeri>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [26] Makas, Murat; (2022), “Yerli akıllı mühimmatlara ‘hidrojen’ desteği! Petrol rafinerisi, havalimanı gibi bölgeleri koruyacak, S-400’lere yaklaştırmayacak”, *TGRT Haber*, (26 Ekim 2022), www.tgrthaber.com.tr/teknoloji/yerli-akilli-muhimmatlara-hidrojen-destegi-petrol-rafinerisi-havalimanı-gibi-bolgeleri-koruyacak-s-400lere-yaklastirmayacak-2852073. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [27] Demiryol, Tolga; (2023), “Avrupa hidrojen ekonomisine güç vermek: Türkiye’nin rolü ne olabilir?”, *Heinrich Böll Stiftung*; (13 Ocak 2023), https://tr.boell.org/sites/default/files/2023-01/hidrojenrapor_tr_13.01.23_web.pdf. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [28] *Bloomberg*, (2023), “2050’de Türkiye’de yeşil hidrojen üretimi ve ihracatı mümkün”, (31 Mart 2023), <https://www.bloomberght.com/2050de-turkiyede-yesil-hidrojen-uretimi-ve-ihracati-mumkun-2329138>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [29] Çağatay, Gülşen; (2023), “Almanya, Türkiye’de üretilecek yeşil hidrojenin taşınmasına yönelik boru hatları üzerinde çalışıyor”, *Anadolu Ajansı*, (28 Nisan 2023), <https://www.aa.com.tr/tr/yesilhat/yesil-ekonomi/almanya-turkiyede-uretilecek-yesil-hidrojenin-tasinmasına-yonelik-boru-hatlari-uzerinde-calisi-yor/1820163>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [30] Taşbaşı, Didem; (2023), “Türkiye, Almanya için yeşil hidrojen tedarikçisi olabilir mi?”, *temiz enerji*, (19 Nisan 2023), <https://temizenerji.org/2023/04/20/turkiye-almanya-icin-yesil-hidrojen-tedarikcisi-olabilir-mi/>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)
- [31] Taşbaşı, Didem; (2022), “Ideaport’un ‘Enerji Depolama Teknolojileri: Hidrojen Enerjisi’ çalışma çıktısı yayınlandı”, *temiz enerji*, (7 Nisan 2022), <http://bit.ly/3qm01ES>. (Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2023)



thinktech
STM Teknolojik Düşünce Merkezi
<http://thinktech.stm.com.tr>

