



ENERJİ KRİZİNİN ÇÖZÜMÜNDE YEŞİL HİDROJEN DEVRİMİ II: Dünyada Yeşil Hidrojen Endüstrisi ve Politikaları

ARAŞTIRMA RAPORU HAZİRAN 2023



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

Son yıllarda etkisini gösteren enerji krizinin doğurduğu yeni konjonktür ve iklim değişikliğiyle mücadele politikaları çerçevesinde hız kazanan yeşil hidrojen atılımı tüm dünyada artarak devam etmektedir. Hidrojeni karbon salımı meydana gelmeden elde etmeyi sağlayan, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak gerçekleştirilebilen yeşil hidrojen üretimine ve tedarikine ilişkin projelere peş peşe yenileri eklenmektedir. Yakın gelecekte dünya enerji dengesinde başrol oyuncularından biri olmaya hazırlanan yeşil hidrojen birçok alanda yeni işbirlikleri doğurmakta ve çarpıcı jeopolitik denge değişikliklerini vadetmektedir.

İlk bölümünde yeşil hidrojenin elde edilme yöntemlerini ve küresel iklim değişikliğiyle mücadeledeki rolünü incelediğimiz “Enerji Krizinin Çözümünde Yeşil Hidrojen Devrimi” konulu Araştırma Dizimizin ikinci bölümünde, yeşil hidrojenin ekonomik boyutu, sektörler üzerinde yarattığı dönüşüm ve bu alanda öne çıkan seçilmiş ülkelerin politika yaklaşımları değerlendirilecektir.

2. KÜRESEL YEŞİL HİDROJEN EKONOMİSİ

Başta Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Avrupa Birliğinin (AB) 2030-2050 dönemine hazırlık çerçevesinde ortaya koydukları düzenleme, teşvik ve hibelerle yepyeni boyutlar kazanan yeşil hidrojen devrimi, dünya ekonomisini ve jeopolitik sahnesini ciddi biçimde dönüştürmeye aday görünmektedir.

Küresel olarak yeşil hidrojenin 2030 yılına kadar 60,6 milyar dolarlık bir piyasa değerine ulaşması

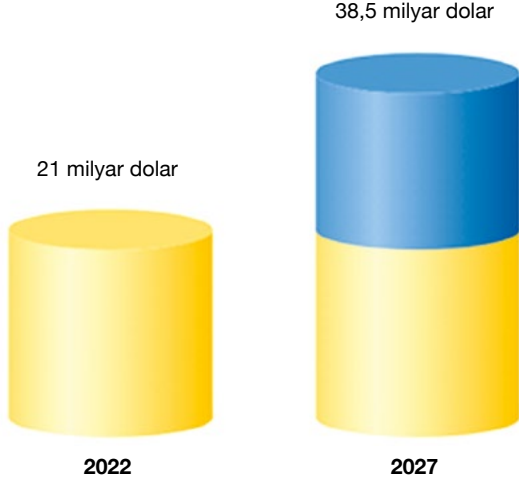
beklenmektedir^[1]. 2023 yılının Mayıs ayında açıklanan Hidrojen Konseyi ve McKinsey’in küresel hidrojen ekonomisiyle ilgili en son güncellemesini içeren Hydrogen Insights 2023 raporuna göre hidrojen ivmesi, küresel olarak açıklanan ve 2030 yılına kadar 320 milyar dolar yatırım gerektiren 1.040 adet proje ile hızlanmaya devam etmektedir^[2]. Hydrogen Insights 2023, Mayıs 2022’den Ocak 2023’e kadar toplam yatırımların yüzde 35 artmasıyla projelerde güçlü büyümenin sürdüğünü göstermektedir. Projelerin yaklaşık yarısı büyük ölçekli endüstriyel uygulamalara odaklanırken, bir sonraki en büyük segment ise mobilite ile ilgilidir. Projelerin yüzde 20’sini oluşturan mobilite, şu anda dünya çapında 1.000’den fazla yakıt ikmal istasyonu faaliyettedir. Toplam açıklanan elektrolizör kapasitesi öngörüsü ise 2030 yılı için 230 GW’dır^[3].

Rapora göre Kuzey Amerika, ABD’nin Enflasyon Azaltma Yasası (Inflation Reduction Act) kapsamındaki yeni teşviklerle körüklenen ve şu anda taahhüt edilen temiz hidrojen üretiminin yüzde 70’ini oluşturmaktadır^[2]. 10 milyar dolar yatırımla başı çeken Kuzey Amerika’ya, 7 milyar dolarla Avrupa ve 5 milyar dolarla Çin izlemektedir. Çin’deki büyüme, yüzde 200’den fazla bir oranla en yüksek seviyededir^[3].

Ancak söz konusu ilerlemeye rağmen, taahhüt edilen projeler yine de hedeflerin gerisinde kalmaktadır. 2030 yılına kadar, net sıfır hedeflerine doğru ilerlemek için yatırımlarda 20 kattan fazla bir artış gerekecektir. Kaynak ve ekipman ihtiyaçları; temiz hidrojen tedarik projelerinin konuşlandırılmasını sağlamak, altyapı darboğazlarını önlemek ve hidrojene hazır son kullanıcı tesislerini etkinleştirmek için kritik öneme sahiptir^[3].

Küresel Hidrojen Ekonomisi Pazarı

Piyasa tahmini: 12,9'luk yıllık büyüme oranı



Şekil 1: Küresel hidrojen ekonomisi pazarı^[5].

Hidrojen ekonomisini inşa etmeye yönelik küresel yatırımların 2022-2027 döneminde yıllık yüzde 12,9'luk bir büyüme oranı ile 38,5 milyar dolara ulaşması beklenmektedir (Şekil 1)^[4].

Dünya genelinde yıllık hidrojen üretim kapasitesinin ise 2030'a kadar 111 milyon tonu aşacağı öngörülmektedir^[6].

2021'de hidrojene olan talep 94 milyon tona ulaşmış ve bunun yaklaşık yüzde 99'u gri hidrojen formundadır. Ancak düşük karbonlu hidrojene olan talebin 2 °C ısınma senaryosunda 2050 yılına kadar yılda 350 milyon ton ve 1.5 °C senaryosunda ise 530 milyon ton olacağı tahmin edilmektedir. Boston Consulting Group'un (BCG) tahminlerine göre, bu talebi karşılamak için hükümetler ve şirketler, düşük karbonlu hidrojen üretmek ve taşımak için 2025 ve 2050 yılları arasında yaklaşık 6 trilyon ila 12 trilyon dolar arasında yatırım yapmalıdır. BCG'ye göre talepteki bu artış, hammadde geliştirme ve hidrojen üretiminden hidrojen taşınması ve depolanmasına kadar değer zinciri boyunca çeşitli noktalarda yatırım fırsatlarının ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Sermaye ihtiyacı, zincirin her halkasında değişecek ve bölgesel ekonomi politikaları yatırımcıların seçimlerini önemli ölçüde etkileyecektir. Dahası, ülkelerin net sıfır hedeflerine ulaşmaları için 2025 ve 2030 yılları arasında hidrojen endüstrisinde 300 ila 700 milyar dolar arasında bir kaynağı derhal tahsis etmesi gerekmektedir^[7].

Diğer yandan elektrolizörlere yapılan yatırımlar da yeşil hidrojen ekonomisini destekler görünmektedir. 2021'de 0,5 GW'ın altında olan elektrolizör kapasitesinin 2022'de artarak 1,2 GW'a çıkması, hidrojeni enerji geçişinin en hızlı büyüyen sektörü hâline getirmiştir^[8]. Yatırımların ve küresel hidrojen ekonomilerine olan talebin artmasıyla birlikte, elektrolizör talebinin 2023'te üç kattan fazla artacağı tahmin edilmektedir. Bu talep çoğunlukla güçlü Çin iç talebinden kaynaklanmakta, ayrıca

Avustralya ve Avrupa'daki büyük hidrojen projelerinin başlatılması da elektrolizör talebini artırmaktadır. Yeşil hidrojen, altyapı ve enerji sektörlerinde cazip bir yatırım fırsatı olarak konumlandırılmakta ve sektörün yatırımcılarının yüzde 67'si önümüzdeki üç ila beş yıl içinde yenilenebilir enerjilere yatırımlarını artırmayı planlamaktadır^[9]. Yeşil hidrojen üretmek için kilit bir teknoloji olarak kabul edilen elektroliz işlemini üretim için kullanan ana şirketler Hydrogenics, Nel ASA, ThyssenKrupp, ITM Power, HydrogenPro, Enapter ve Plug Power olarak öne çıkmaktadır^[10].

3. YEŞİL HİDROJENİN DÖNÜŞTÜRDÜĞÜ SEKTÖRLER

Yeşil hidrojen, hâlihazırda ihtiyaç duyduğu enerjinin büyük kısmını fosil kaynaklardan elde eden demir-çelik, çimento, cam, metal eşya sanayii ve gübre gibi çok sayıda sektörde karbonsuzlaştırmanın sağlanmasında önemli bir katalizör işlevi görecektir^[11].

3.1 Kimya Endüstrisi

Kimya sektöründe yeşil hidrojenin en büyük dönüşümü, amonyak ve metanol üretiminde gerçekleştirilmesi beklenmektedir.

- **Amonyak Üretimi:** Amonyak 2020'de 183 milyon tondan fazla üretimle, dünyada hacim olarak en çok üretilen ikinci kimyasal emtia olmuştur^[12]. Amonyak sentezi, CO₂ varlığı açısından en yoğun petrokimya işlemidir. Yeşil amonyak, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak nitrojen ile hidrojenin birleştirilmesiyle sentetik olarak üretilir^[13].

Gübre üreticileri, küresel amonyak üretiminin yüzde 85'inden fazlasını kullanmaktan sorumludur ve bu da tarım sektörünü en önemli amonyak tüketicisi hâline getirmektedir^[12]. Küresel nüfus artışı gübre talebini artıracak; bu da amonyağın uluslararası nakliye ve enerji üretimindeki kullanımıyla birleştiğinde, amonyak talebini 2050 yılına kadar yaklaşık 600 milyon tona çıkaracaktır. Bu miktarın yaklaşık yüzde 55'inin yeşil hidrojenle üretilebileceği öngörülmektedir^[12]. Yeşil amonyağın sürdürülebilir gübre üretiminde kullanılması, gıda değer zincirinin karbondan arındırılmasına katkıda bulunurken, tarımsal üretkenliği ve gıda güvenliğini destekleyecektir^[14]. Amonyak üretim tesisleri tipik olarak buhar metan reformasyonundan elde edilen hidrojeni kullanmaktadır. Bu işlem tek başına, amonyak üretiminin yol açtığı CO₂ emisyonlarının yüzde 90'ı ile ilişkilidir. Dolayısıyla yeşil hidrojen, amonyak üretimini karbonsuzlaştırmanın temel çözümüdür^[12]. Yeşil amonyak ile kimya sektörünün CO₂ ayak izi önemli ölçüde küçülmektedir^[13].

- **Metanol Üretimi:** Metanol, ağır alkoller, benzini ve diğer birçok karmaşık kimyasal sentezlemek için kullanılan çok yönlü bir moleküldür. Tek başına bir ürün olarak işlev görebildiği veya benzinle karıştırılabilen

diğer kimyasallara dönüştürülebildiği içten yanmalı motorlarda, geleneksel ulaşım yakıtlarına alternatif olarak kullanılabilir.

Küresel metanol üretimi 2019'da yaklaşık 98 milyon tona ulaşmış ve 10 yılda iki kattan fazla artmıştır. Küresel olarak üretilen metanolün yaklaşık yüzde 31'i yakıt olarak kullanılmaktadır. Üretimde ihtiyaç duyulan karbonun neredeyse tamamı fosil yakıt kaynaklarından gelmiş ve biyokütle kullanılarak sadece 0,2 milyon tondan daha az metanol üretilmiştir. Metanol üretimi 2050 yılına kadar yılda 401 milyon tona ulaşabilir ve bunun yaklaşık yüzde 73'ü yeşil hidrojenle üretilebilir^[12].

Ayrıca yeşil amonyak ve yeşil metanol gibi yeşil hidrojen türevleri, uzun vadeli enerji taşıyıcıları olduğundan, düşük talep dönemlerinde üretilen fazla yenilenebilir elektriği depolarlar. Tıpkı yeşil hidrojen gibi, türevleri de endüstriyel enerji kaynağı, yeşil hammadde veya yeşil ulaşım yakıtı olarak kullanılabilir^[14].

3.2 Çelik Endüstrisi

Çelik üretimi, küresel CO₂ emisyonlarının yüzde 6 ila 7'sini, yani tüm küresel havacılıktan kaynaklanan emisyonların iki ila üç katını oluşturmaktadır^[15]. Çelik üretiminde de yeşil hidrojen, fosil enerji kaynaklarına anlamlı bir alternatif oluşturmaktadır. Çelik yüksek fırında veya doğrudan redüksiyon sisteminde üretilmektedir. Yüksek fırın yönteminde yeşil hidrojen enjeksiyon kömürünün yerine geçebilmektedir. Doğrudan redüksiyon yönteminde de doğalgaz yerine yeşil hidrojen kullanılabilir^[13]. Yenilenebilir enerji kullanarak temiz yeşil çelik üreten ilk deneysel projelerden bir yıl sonra, demirin doğrudan indirgenmesinde emisyonlu hidrojen kullanacak bir dizi yeni çelik projesi açıklanmıştır^[16].

Avrupalı demir ve çelik üreticileri emisyon hedefleri kapsamında hidrojenli çelik üretimi için pilot projeler başlatmıştır^[17]. 2022'nin Aralık ayında Avustralyalı demir cevheri madencisi Fortescue Metals grubu, Avusturyalı Voestalpine, Japon Mitsubishi Corp ve İngiliz Primetals Technologies sıfır emisyonlu demir üretimi için yeşil çelik üretimi anlaşması imzalamıştır. Anlaşma ile endüstriyel ölçekte prototip tesis tasarımı ve mühendisliği amaçlanmaktadır. Sera gazı emisyonları ile mücadele kapsamında demiri cevherinden ayırmak için elektrik kullanarak CO₂ salımı gerçekleşmeden yeşil çelik üretiminin yollarını araştırmayı sürdüren ortaklar bu amaç doğrultusunda bir araya gelerek, Avusturya'nın Linz kentinde bulunan genel merkez yakınında tesis kurmayı planlamaktadır. Yeşil çelik üretimi için harekete geçen Fortescue'nun yeşil teknolojiler şubesi FFI, ülkedeki en büyük özel çelik üreticileri arasında yer alan Endonezyalı GRP ile işbirliğini sürdürmektedir. Avusturya'da test aşamasında olan yeni demir üretim sürecinin, Primetals Technologies'in ince hidrojen cevheri indirgeme (HYFOR) teknolojisine dayalı olacağı belirtilmektedir. HYFOR'un, toz demir cevheri için dünyanın ilk doğrudan indirgeme süreci olduğu düşünülmektedir. Ortaklığın misyonu yeşil hidrojen kullanılarak karbon nötr çelik üretimi yapmak olarak ifade edilmektedir. Yeni tesiste

kullanılacak olan hidrojenin, H2Future isimli proton değişim membranı (PEM) elektrolizörü işleten Avusturyalı yenilenebilir enerji üretici Verbund'dan geleceği belirtilmektedir. Fortescue ise söz konusu tesisin, 6 MW'ı aşan kapasitesi ile çelik üretiminde dünyanın en büyüğü olacağını düşünmektedir^[18].

Ancak hidrojenle demir çelik üretimi zorlu ve sabır isteyen bir süreçtir. AB'de karbon kullanılarak üretilen yılda 100 milyon ton çeliği dönüştürmek için yılda yaklaşık 400 terawatt-saat elektrik gerekmektedir -ki bu miktar kıtanın toplam mevcut tüketiminin yüzde 15'ine eşdeğerdir^[11].

3.3 Çimento Endüstrisi

Sanayide yeşil hidrojen kullanımının artması Uluslararası Enerji Ajansı tarafından da desteklenmektedir. Ajansın G-20 ülkeleri için hazırladığı bir rapora göre, sanayide hidrojen kullanımının artması için öncelikle yeşil hidrojen üretiminin artırılması gereklidir. Söz konusu artışın sağlanabilmesi için teşviklerin artırılması önerilmektedir. Ayrıca özellikle sanayi tesisleri ve limanlara "doğalgaz boru hatları gibi hidrojen boru hatları inşa edilmesi" de tavsiye edilmektedir. Ajansa göre böylece hidrojen kullanımını artırılarak genel hidrojen fiyatlarının düşmesi ve hidrojenin ciddi ve temiz bir alternatif hâline gelmesi mümkün olabilecektir^[19].

3.4 Ulaşım Sektörü

Yeşil hidrojenin ulaşım sektöründeki kullanımı da oyun değiştirici niteliktedir.

3.4.1 Kara Araçlarında Yakıt Olarak Hidrojen

Hidrojenin enerji yoğunluğu yüksek olduğu için elektrikli araçlar için verimli bir yakıt alternatifidir. Hidrojenli yakıt pilleri daha uzun menzil sağlama potansiyeline sahiptir. Bu nedenle birçok küresel otomotiv üreticisi yakıt pilli modellerini piyasaya sürmektedir.

Sera gazı salımı olmaması, fosil yakıtlı araçlar kadar kısa zamanda doldurulabilmeleri, elektrikli bataryalardan daha hafif ve küçük olmaları hidrojen yakıtlı araçların avantajları arasındadır. Ayrıca hidrojen yakıt pilleri ölçeklenebilmekte ve uzun mesafe kamyonları için de elektrikli bataryalara göre çok daha makul bir çözüm sunabilmektedir. Hidrojen yakıtlı kamyonların seri üretimi de başlamıştır. Yakıt istasyonlarının sayısının henüz yeterli olmaması, teknolojisinin hâlen aşırı pahalı olması ise dezavantajları arasındadır. Yeşil hidrojen üretiminin artması, hidrojen dolum istasyonlarının yaygın hâle gelmesi ve hidrojenli araç üretiminde ölçek ekonomisinin yakalanması karayolunda hidrojen yakıt pillerinin yaygınlaşması için elzemdir^[20].

3.4.2 Denizcilikte Hidrojen ve Amonyakın Yükselişi

Sera gazı emisyonlarının yaklaşık yüzde 3'üne sebep olan denizcilik sektörü de alternatif enerji çözümlerine yönelmiştir. Hidrojen, ürettiği güç ve karbon salımı olmaması nedeniyle sektörde en uygun çözüm olarak görülmele birlikte; hidrojenin gemilerde sıvı olarak taşınması önemli bir güçlük yaratmaktadır.

Ayrıca sıvı hidrojen, uzun mesafeli deniz taşımacılığında güvenlik sorunları da yaratmaktadır. Bu tip sorunlar denizcilik örgütlerini, yandığı zaman CO₂ üretmeyen renksiz bir yakıt olan amonyak üzerinde çalışmaya itmiştir. Amonyak, yenilenebilir enerji, hidrojen, su veya havadan elde edilebilir ve üretimi dünya genelinde yapılabilir. Ayrıca amonyak hem yakıt pillerinde hem de içten yanmalı motorlarda kullanılabilir ve dolayısıyla gemilerde yakıt dönüşümü daha kolay ve daha az maliyetli olabilir. Yeşil hidrojen kullanarak uygun maliyet ve miktarda temiz amonyak üretmek mümkün olsa da bunun için öncelikle yeşil hidrojen üretiminin yaygınlaşması gereklidir^[20].

Önümüzdeki yıllarda gemiler, yeşil hidrojen ve havadaki nitrojenden üretilen, CO₂ içermeyen bir yakıt olan yeşil amonyağa geçebilir, ancak motor ve tankların değiştirilmesi için ciddi yatırımlara ihtiyaç duyulacağı açıktır^[21].

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından filo sahiplerine ve operatörlere uygulanan her zamankinden daha sıkı düzenleyici kısıtlamalar karşısında emisyonlarını azaltmak isteyen denizcilik sektöründe birkaç stratejik ortaklık ile bazı küresel oyuncular temiz hidrojene büyük oranda ilgi duymaktadır. Mayıs 2023 itibarıyla, nakliye yakıtı olarak hidrojen veya türevlerini kullanan 100'den fazla projede pilot üretim veya demonstrasyon faaliyeti devam etmektedir^[22].

3.4.3 Havacılıkta Hidrojen

2050 yılına kadar net sıfır emisyon taahhüdünde bulunan havacılık endüstrisi küresel karbon emisyonlarının yaklaşık yüzde 2,5'inden sorumludur. Net sıfır emisyon hedefine ulaşmak için havacılık endüstrisinin önünde sürdürülebilir yakıtlar, hibrid elektrikli motorlar ve pilli elektrikli uçaklar dahil olmak üzere çok sayıda seçenekten oluşan zorlu bir inovasyon süreci bulunmaktadır^[23].

Hidrojen (veya amonyak) yakıtı kullanan uçaklar, mevcut jet yakıtı ile çalışan uçakların yerini alması için tasarlanması, inşa edilmesi ve havayollarına satılması gereken yeni uçaklar olacaktır. Sektör uzmanları gereken yatırımın büyüklüğü nedeniyle yeşil jet yakıtını 2030'lu yıllara kadar mümkün görmemekle birlikte, yeşil hidrojen ve sürdürülebilir biyoenerji kombinasyonu ile üretilen yakıtın, yakın vadede uygulanabilecek bir çözüm olduğuna inanmaktadır^[21].

Havacılığın gerçek bir sıfır iklim etkisine nasıl ulaşabileceğini araştıran "Dünya Ekonomik Forumu Hedef Gerçek Sıfır Girişimi (Target True Zero)" ve "Cambridge Üniversitesi Havacılık Etki Hızlandırıcısı (University of Cambridge's Aviation Impact Accelerator)" tarafından hazırlanan bir rapora göre endüstri liderleri, alternatif tahrik teknolojisinin, özellikle hidrojenin gelecekte havacılığın iklim üzerindeki etkisini azaltabileceği konusunda iyimser olduklarını dile getirmektedir^[24]. "Sürdürülebilir Batarya ve Hidrojenle Çalışan Uçuşun Kilidini Açmak" adlı rapora göre, 2035 yılına kadar, orta menzilli uçuşları elektrikleştirmek için hidrojen yakıt hücreleri ve uzun mesafeli uçuşlarda hidrojen yanmalı uçaklar kullanılabilir. Rapor teknolojinin havacılıkta benimsenmesini sağlayacak sekiz temel teknolojik kilit konu belirlemiştir:

- Havacılık pillerinin yenilenebilir enerji ile şarj edilmesini sağlamak,
- Yeşil hidrojenin tanıtımının hızlandırılması,
- Havacılık için pil ömrü döngülerini ve yönetimini iyileştirme,
- Batarya elektrikli uçak enerji yoğunluğunun iyileştirilmesi,
- Daha hafif yakıt hücresi sistemlerinin geliştirilmesi,
- Sıvı hidrojen için daha hafif depolama tankları geliştirilmesi,
- Optimize edilmiş hidrojen performansı için uçağı yeniden tasarlama,
- Uçak duman izi araştırma ve hafifletme.

Sektörün önde gelen şirketleri sürdürülebilir bir havacılığın tesis edilmesi amacıyla bu problemlerin çözümünü için Ar-Ge faaliyetlerine devam ettiklerini bildirmektedir. Sektör alternatif tahrikli uçakları hem düşük karbon ikamesi sağlayan hem de yeni ekonomik fırsatlar sunan bir alan olarak görürken, 2050'ye kadar net sıfır karbon emisyonu hedefine ulaşmak için filo yenileme, iyileştirilmiş hava trafiği yönetimi, sürdürülebilir havacılık yakıtı ve alternatif hidrojen tahriki dahil olmak üzere karbondan arındırma önlemleri üzerinde çalışmaktadır^[24]. IRENA Enerji Sektörü Dönüşüm Stratejileri Şefi Emanuele Taibi'ye göre, 2030'a kadar karbondan arındırmayı hızlandırmak için sektörde önceliklendirilmesi gereken başlıca eylemler şunlardır:

- Enerji verimliliği,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla elektrifikasyon,
- Yenilenebilir enerji üretiminin hızlandırılması,
- Sürdürülebilir enerjinin ölçeklendirilmesi,
- Gri hidrojenin yeşil hidrojenle karbondan arındırılması elektrolizin maliyetini azaltacak, yeşil hidrojeni rekabetçi hâle getirecek ve 2030'larda daha fazla ölçek büyütmeye hazır hâle getirecektir.

İklim nötr hedefe ulaşılması için sera gazı salımı düşük yakıtların havacılıkta kullanılması önem taşımaktadır. Örneğin uçaklara hidrojenin ikincil bir ürünü olan sentetik kerosen (uçak yakıtı) doldurulduğunda uçuşlar biraz daha iklim koruyucu bir şekilde gerçekleşebilir^[13].

Havacılık sektörünün önde gelen şirketlerinin tamamı hidrojenli yakıt pilleri konusunda ciddi Ar-Ge çalışmaları yürütmektedir. Örneğin Airbus, çeşitli yolcu kapasitelerinde üç hidrojen yakıt pilli uçak prototipi geliştirmiştir^[25]. Hidrojenli yakıt bataryaları kütle başına jet yakıtlarından üç kat, lityum iyon bataryalara göre ise 100 kattan daha fazla enerji sağlamaktadır. Ancak hidrojenin -253 santigrat derecede soğutulup sıvılaştırılarak kullanılmak zorunda olması havacılık için de büyük bir sorundur. Hidrojen kütle başına jet yakıtlarına göre daha fazla enerji sağlamaktadır, ancak hacim açısından dört kat daha fazla yere sahip olması gereklidir. Sorunun çözümü için uçaklarda ya yolcu sayısını azaltıp hidrojen tanklarına daha



Şekil 2: ZeroAvia'nın iki hidrojen yakıt hücresinden kısmen güç alan 2 MW'lık bir elektrik motoruna sahip olan bir prototip pervaneli uçağı^[23].

fazla yer ayrılmalı veya daha büyük uçaklar tasarlanmalıdır. Ayrıca havaalanlarında hidrojen depolanması için daha geniş alanlara ihtiyaç vardır. Hidrojenin havayolu taşımacılığında ciddi alternatif hâline gelebilmesi için, maliyetinin (hâlen jet yakıtından en az dört kat daha yüksek maliyetle üretilebilmektedir), üretimde ölçek ekonomisi yakalanmak suretiyle düşürülmesi gerekmektedir^[20].

Hâlihazırda hem yeni şirketler hem de küresel havacılığın öncü şirketleri hidrojen çözümleri için araştırmalarını son hızla sürdürmekte ve belli başlı prototipler geliştirmektedir. Bunlardan biri olan Kaliforniya merkezli ZeroAvia şirketi, şu anda iki hidrojen yakıt hücresinden kısmen güç alan 2 MW'lık bir elektrik motoruna sahip olan bir prototip pervaneli uçağı test etmektedir^[23]. 19 koltuklu Dornier 228, 10 dakikalık test uçuşunu başarıyla tamamlamıştır.

Günümüzde uçan en büyük hidrojen yakıt hücreli uçak ise Universal Hydrogen şirketinin 2023'ün Mart ayında uçurduğu 40 yolculu Lightning McClean isimli uçak olmuştur^[26].

Hem batarya hem de lityum metal hücreler ve sıvı hidrojen tankları gibi hidrojen teknolojilerinin kullanılmasının, hidrojenle çalışan uçakların menzilinii iki katına çıkarabileceği düşünülmektedir. Joby ve Airbus gibi şirketler de hem batarya hem de hidrojen sistemlerine yatırım yapmakta ve Airbus, dünya çapındaki havalimanlarında hidrojen altyapısının geliştirilmesi üzerinde çalışmak için Linde şirketiyle bir mutabakat zaptı imzalamıştır. Öte yandan Rolls-Royce, hidrojenin 2030'ların ortalarında bir dizi teçhizat ve motor testi yoluyla küçük ve orta ölçekli uçaklar için bir güç kaynağı olarak verimli ve güvenli bir şekilde kullanılabileceğini kanıtlamayı amaçlayan bir hidrojen uçak programı yürütmektedir.

Birçok endüstri lideri, havacılık sektöründe hidrojenin geleceği konusunda iyimser bir yaklaşım sergilemekte

ve endüstrinin iklim üzerindeki olumsuz etkisine çözüm olabileceğine inanmaktadır. 2020 yılında 143 milyar dolar değerinde olan hidrojen uçak pazarının, 2025'ten 2030'a yüzde 28,9'luk bir bileşik getiri oranıyla büyümesi beklenmektedir^[27].

3.5 Savunma Sanayiinde Hidrojen

Yaşanan hidrojen atılımı en çok karbon salımı gerçekleştiren sektörlerden biri olan küresel savunma sanayiini de doğrudan etkilemektedir.

Tüm ekonomi için olduğu gibi savunmada da enerji güvenliğinin temini stratejik önem taşımaktadır. 2050 yılında öngörülen enerji güvenliği bugünkünden oldukça farklı olacağından silahlı kuvvetlerin gelecekteki enerji ihtiyaçlarını karşılamak kilit bir zorluk olacaktır. Dünya Enerji Konseyinin Dünya Enerji Senaryolarına göre, dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 10 milyara yükseleceği ve bunun da silahlı kuvvetlerin büyüklüğünde bir artış gerektireceği tahmin edilmektedir. Bu bağlamda, enerji üretimi, dağıtımı ve depolaması ile üretim ve talep arasındaki dengesizliklerin giderilmesi gerekli görülmektedir^[28].

Kuzey Atlantik İttifakının (NATO) önceliklerinden biri de, askeri operasyonlar için enerji arzının sürekliliği konusunda devletlerin ve silahlı kuvvetlerinin esnekliğini artırmaktır. NATO ayrıca, fosil yakıt kullanımını yenilenebilir enerji lehine azaltarak enerji verimliliğini artırmayı öncelik hâline getirmiştir. Aynı zamanda, NATO, enerji kaynakları için kritik altyapıyı ve stratejik ulaşım yollarını koruma konusundaki faaliyetlerini artırmaya çalışmaktadır. Şimdiye kadar, enerji güvenliği esas olarak petrol ve gaz tedarik kaynaklarının çeşitlendirilmesi açısından görülmüştür. Ancak iklim değişikliği ve kaynak çeşitliliği yaratma açısından yeni teknolojilere dayalı yenilenebilir enerji gelişimi silahlı kuvvetler açısından da önem taşımaktadır.

Mevcut çözümler arasında hidrojen teknolojileri en dikkat çekici seçeneklerden biridir.

3.5.1 Savunma Sanayiinde Hidrojene Geçişin Sağladığı Yararlar

“Silahlı Kuvvetlerde Hidrojen Kullanımı için Beklentiler” başlıklı bir raporda^[28] sonuçları aktarılan bir araştırmaya göre, elektrik depolama ve enerji sistemlerinin stabilizasyonunun temel zorluklar olmaya devam ettiği, silahlı kuvvetlerini iklim ve enerji politikasına uygun olarak dönüştürmeye çalışan NATO tarafından da kabul edilmektedir. Bu bağlamda hidrojen üretmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve bu kaynakların yakıt hücrelerinde kullanımı dahil olmak üzere uygun bir tedarik zincirinin benimsenmesi, kritik durumlarda enerji arzının sürekliliğini sağlamayı mümkün kılacaktır. Bu, silahlı kuvvetler için, her şeyden önce çatışma durumunda, hızlı hareket etmeyi ve enerji tedarikini ve böylece operasyonel hareketliliği garanti altına alacak teknolojilere sahip olmak anlamına gelecektir. Bu bakımdan savunma sektöründe hidrojenin bir ulaşım yakıtı olarak en uygun şekilde kullanılmasını içeren projeler geliştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Rapora göre savunma sanayiinde yenilenebilir enerjinin kullanılması NATO'nun operasyonel etkinliğinin optimize edilmesine yardımcı olacaktır.

Düşük karbonlu hidrojen teknolojileri silahlı kuvvetlerdeki enerji sistemlerinin istikrarını artıracak olan yakıt ve enerji üslerinin çeşitlendirilmesine katkıda bulunacak ve çatışma koşullarında enerji güvenliğini etkileyecektir. Ayrıca, silahlı çatışma riski altındaki ülkelerde yerel hidrojen ağlarının gelişmesi sadece enerji güvenliğini sağlamakla kalmayıp, ekonomiyi fosil yakıtlardan ve bunların zor koşullarda diğer ülkelerden ithalatından bağımsız hâle getirecektir.

Bununla birlikte, hidrojen uygun bir enerji içeriğine sahiptir. Bir kilogram hidrojen, kalorifik değer 120 MJ/kg, kömürde 25 MJ/kg ve benzinde 47 MJ/kg'dır^[28]. Bu, hidrojenin, kütlesi nedeniyle, diğer yakıtlardan daha verimli olduğu anlamına gelmektedir. Çatışma sırasında savaş araçlarının yüksek enerji tüketimi düşünüldüğünde, belirli bir yakıtın kalorifik değeri çok önemlidir ve bu değer savunma sanayiindeki enerji verimliliğini etkilemektedir.

Yeni teknolojiler, orduyu petrol bazlı yakıtlara tamamen bağımlılıktan, vurucu güçlerinden ödün vermeden daha yeşil alternatiflere kaydırmayı mümkün kılmaktadır. Mevcut ve büyüyen hidrojen üretim kapasitesi, hidrojene geçişin ordunun operasyonel enerjisi elde etme biçimini önemli ölçüde değiştirebileceği anlamına gelmektedir. Zira hidrojen, muharebe alanının taktiksel tarafında üretilebilir ve kullanılabilirken, petrol yakıtlarının çıkarılması, rafine edilmesi, depolanması ve uzun mesafelere taşınması gerekir.

Hidrojen araçları ve platformları performansta da önemli avantajlar sunmakta, bu da savaş alanında vurucu gücün artmasına neden olmaktadır. Hidrojen yakıt hücreleri, bir yandan elektrikli araçlara güç sağlarken hidrojenle çalışan araçlar da çok daha küçük bir termal imzaya sahiptirler. Bu da onları muharebe alanında daha az görünür hâle getirmektedir. Hidrojen, insansız hava

sistemlerinin menziline ve güvenilirliğini önemli ölçüde genişletebilir veya kara taşıtları söz konusu olduğunda, elektrik motoru aracılığıyla onlara büyük miktarda anlık tork verebilmektedir^[29].

3.5.2 Havacılık, Uzay ve Savunma Sanayiinde Hidrojen Uygulaması

Hidrojenin uzay, havacılık ve savunma sanayiinde sahip olduğu çeşitli potansiyel uygulamalar aşağıda sıralanmıştır^[30]:

- **Yakıt hücresi teknolojisi:** Hidrojen yakıt hücreleri, geleneksel jet motorlarına kıyasla karbon emisyonlarında önemli azalmalar sağlayarak uçaklara güç sağlayabilir. Ayrıca insansız hava araçlarına ve savunma operasyonlarında kullanılan diğer araçlara güç sağlamak için de kullanılabilirler. Ek olarak, yakıt hücreleri askeri üsler ve diğer tesisler için güvenilir bir güç kaynağı sağlayabilir.
- **Kriyojenik hidrojen depolama:** Kriyojenik hidrojen depolama, roketlerde ve uzay araçlarında fırlatma ve tahrik sistemleri için kullanılabilir. Geleneksel roket yakıtına hafif ve yüksek performanslı bir alternatiftir, daha fazla verimlilik ve daha düşük emisyon sunar.
- **Yer destek ekipmanı:** Hidrojen yakıt hücreleri, hava alanlarında ve askeri üslerde yer destek ekipmanlarına güç sağlamak için kullanılabilir, dizel jeneratörlere daha temiz ve daha verimli bir alternatif sunar.
- **Enerji depolama:** Hidrojen, askeri üslerde ve havacılık tesislerinde enerji depolamak için kullanılabilir ve elektrik kesintileri durumunda güvenilir bir yedek güç kaynağı sağlar.
- **Havacılık malzemeleri:** Hidrojen, uçak ve uzay araçları için hafif malzemelerin üretiminde kullanılabilir. Örneğin, karbon fiber takviyeli polimer (CFRP), polimer matrisini oluşturmak için hidrojen kullanılarak üretilebilir.
- **Hidrojenle çalışan drone'lar:** Hidrojen yakıt hücreleri, gözetleme, istihbarat toplama ve keşif gibi çok çeşitli savunma uygulamalarına sahip drone'lara da güç verebilir.

Emisyonları azaltmak ve yakıt verimliliğini artırmak için artan bir baskı altında olan havacılık ve savunma sanayiinde hidrojen bu zorluklara temiz ve verimli bir çözüm sunmaktadır. Endüstri ayrıca, yenilikçi hidrojen teknolojilerinin geliştirilmesine yol açabilecek araştırma ve geliştirme için büyük bir bütçeye sahiptir. Dolayısıyla genel olarak, hidrojen, havacılık ve savunma endüstrisinin geleceğinde önemli bir rol oynama potansiyeline sahiptir^[30].

Hava ve uzay yolculuğunu daha verimli ve çevre dostu hâle getirmek için sürekli olarak yeni yollar arayan havacılık endüstrisinde son zamanlarda çok dikkat çeken bir alan, hidrojenin yakıt kaynağı olarak kullanılmasıdır. Hidrojen, uçaklara, uydulara ve hatta uzay araçlarına güç sağlamak için kullanılacak temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır^[27].

NASA ve diğer uzay ajansları, roket motorları için yakıt kaynağı olarak hidrojen kullanımını incelemektedir. Uzay ajansları, hidrojenin roket motorları için ideal bir yakıt kaynağı olduğunu bulmuşlardır, çünkü belirli bir miktarda yakıt için çok fazla itme gücü sağlayabilmektedir. Hidrojenin uçak tahriki için birincil enerji kaynağı olarak, yakıt hücreleri şeklinde, termal motorlarda doğrudan yanma şeklinde veya sentetik sıvı yakıtlar için bir yapı taşı olarak kullanılması, uçuşların küresel ısınma etkisini yüzde 50 ila yüzde 90 oranında azaltabilir. Bu teknoloji uygulanabilir ve 2035 yılına kadar kısa menzilli uçaklarda kullanılabilir.

3.5.3 Hidrojen Yakıt Hücrelerinin Savunma Sanayiine Sağladığı Avantajlar

Pille çalışan ve içten yanmalı motorlu drone'lara göre hidrojen yakıt hücreleri sayısız avantaj sunmaktadır. Örneğin drone'larda kullanılan yakıt hücreleri yüksek bir enerji yoğunluğuna sahiptir, bu da daha büyük bir enerji çıktısı-kütle oranı sağladıkları anlamına geldiğinden havacılık ve insansız hava araçları için özellikle tercih sebebidir. Hidrojen, Proton Değişim Membranlı (PEM) yakıt hücreleri, drone batarya sistemlerine kıyasla eşdeğer uçaklar ve yük ağırlıkları için üç kata kadar dayanıklılık göstermektedir^[31].

Piller nispeten düşük bir enerji yoğunluğuna sahiptir ve genellikle sağladıkları kısıtlı uçuş süresinin birkaç katı uzunlukta şarj gerektirmektedirler. Oysa hidrojen silindirleri dakikalar içinde değiştirilebileceğinden daha fazla operasyonel verimlilik sağlarlar. Yakıt hücresi teknolojisi, içten yanmalı motorlara kıyasla sessiz çalışır ve İHA sensörlerine ve yüklerine müdahale edebilecek rahatsız edici gürültü veya titreşimi en aza indirir. Ayrıca, yakıt hücreleri, genellikle daha fazla yedek parça ve işçilik gerektiren muadillerinden daha az bakım gerektirir. Hidrojenle çalışan drone'lar, düşük hava yoğunluğu nedeniyle yüksek irtifa performansı konusunda birçok içten yanmalı motor modelini gölgede bırakmaktadır. Buna karşılık, küçük içten yanmalı motorlar yalnızca belirli koşullar altında optimum yakıt verimliliğinde çalışırken, aynı zamanda aşırı

gürültü, kirlilik ve termal imza üretir. Pilleri sık sık değiştirmeye gerek kalmadan, hidrojen yakıt hücreleri, drone teknolojisini uygun ölçekte kullanan kuruluşlar için uzun vadeli sahip olma maliyetlerini de azaltabilir^[31].

“Silahlı Kuvvetlerde Hidrojen Kullanımı için Beklentiler” raporu^[28], Almanya, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri’ni karşılaştırmalı olarak inceleyerek hidrojenin savunma sektöründeki kullanımına örnekler sunmaktadır. Bu üç ülke hidrojen konusunda silahlı kuvvetlerin ilgisini çeken geniş bir bilimsel çıktı oluşturmaktadır. Rapora göre silahlı kuvvetlerde hidrojen teknolojisi perspektiflerinin uygulanmasında önemli bir rol, Japonya’nın uluslararası bir tedarik zincirinin geliştirilmesini içeren, böylece müttefikler arasındaki ilişkilerin geliştirilmesine ve çatışma bölgelerine arz güvenliğinin sağlanmasına katkıda bulunan hidrojen stratejisi tarafından oynanabilir. Savunma güvenilirliğine katkıda bulunmak için ortak bir hidrojen yol haritası öngören Almanya’nın özel hidrojen stratejisi, müttefikler arasında birlikte çalışabilirliğin sağlanmasına yardımcı olabilecek askeri ortamlarda Power-to-X (PtX) tabanlı hareketliliğin geliştirilmesini vurgulamaktadır. Bununla birlikte rapora göre, hidrojenin konut sektöründe ulaşım ve yakıt hücreleri için bir yakıt olarak kullanılması, bir kez uyarlandığında, askeri sektörde tam olarak kullanılma potansiyeline sahiptir. Japonya’nın polimer elektrolit (FC) teknolojisi ve altyapı inşasında sürekli ısı sağlamak için polimer elektrolit yakıt hücresi (PEFC) ve katı oksit yakıt hücresi (SOFC) teknolojilerinin kullanılması, silahlı kuvvetlerin hareketlilik arayışında kilit bir önlem olabilir. Japonya, enerji güvenliği, ekonomik verimlilik, çevre ve güvenlik olmak üzere üç başlıktan oluşan “3E+S” hedefine dayanan bir enerji planı oluşturmaktadır. Bu planın amaçlarından biri de, hidrojen teknolojisinin savaş alanında güvenli kullanımıyla ilgili mevcut endişeleri ele almaktır.

3.5.4 Küresel Savunma Sanayiinde Hidrojen ve Yeşil Hidrojen Kullanımına İlişkin Son Gelişmeler

Dünyanın en büyük kurumsal petrol kullanıcısı olan ABD Savunma Bakanlığı, aynı zamanda iklim değişikliğini

	Almanya	ABD	Japonya
Silahlı kuvvetlerin teknoloji perspektifi	Havacılık: yenilenebilir kaynaklardan parafin; Hibrid elektrikli havacılığın geliştirilmesi (hidrojen / yakıt hücreleri / batarya teknolojisinin kombinasyonu); Hidrojene dayalı sıfır emisyonlu gemilerin geliştirilmesi; Denizcilik ve havacılık sektörü: sentetik yakıtların kullanımı; Jet motorları için elektrik bazlı yakıt kullanımı; PtX tabanlı askeri hareketlilik “Güçten Gaza (Power-to-Gas/PtG)” veya “Güçten Sıvıya (Power-to-Liquid/PtL)”.	Uçak motorları, trenler: katı oksit yakıt hücresi (SOFC) ve katı oksit elektroliz hücresi (SOEC) teknolojilerinin kullanımı, hidrojen gaz türbinlerinin geliştirilmesi; Yüksek verimli polijenerasyon tesislerinin geliştirilmesi.	Ulaştırma sektörü: kamyonlar için hidrojen tankları ve gemiler için yakıt hücreleri (FC); Konut sektörü: polimer elektrolit yakıt hücreleri (PEFC’ler) ve katı oksit yakıt hücreleri (SOFC’ler) kullanılarak evsel yakıt hücrelerinin (Ene-Farms) geliştirilmesi.

Tablo 1: Almanya, ABD ve Japonya’nın hidrojen stratejilerinin temel unsurları^[28].

kilit bir “ulusal güvenlik sorunu” olarak görmektedir. Gerçekten de ulusal güvenlik ve iklim değişikliği arasındaki bağlantı giderek daha fazla inkâr edilemez hâle gelmektedir. Brown Üniversitesi araştırmacıları, ABD ordusunun 2017 yılında yaklaşık 60 milyon tonla İsveç veya Danimarka’dan daha fazla karbondioksit emisyonu ürettiğini hesaplamışlardır^[29].

Bu faktörlerin etkisiyle ABD ordusu bir süredir yeşil savunma konsepti çerçevesinde hidrojenle ilgili inovasyonlarını hayata geçirmektedir. ABD ordusu, Chevrolet’den hidrojenle çalışan bir aracı test etmiş ve ayrıca insansız hava araçlarının (İHA’lar) sıvı hidrojenle çalışan testlerini finanse etmiştir. Donanma, hidrojenle çalışan bir İHA’nın 48 saatlik uçuşuyla dayanıklılık rekorlarını kırmıştır. ABD Özel Operasyonlar Komutanlığının şu anda kullandığı pille çalışan bir platformun menzilin önemli ölçüde artıracak hidrojen yakıtlı bir İHA ise geliştirilme aşamasındadır. Ordunun Kara Aracı Sistemleri Merkezi, birkaç hidrojen yakıtlı prototip kara aracı geliştirmek için Pratt & Miller, General Motors ve Nikola Motors ile birlikte çalışma yürütmüştür^[29].

ABD donanması enerji kaynaklarını en büyük nükleer enerjili uçak gemisi filosuna, geleneksel enerji kaynaklarına (petrol), alglerden yapılan biyoyakıtlara ve hidrojenle çalışan İHA’lara (henüz gösteri aşamasında) sahip olarak çeşitlendirmiştir. Bu araçlardan biri olan Hybrid Tiger drone, güneş ve hidrojen yakıt hücresi olmak üzere sadece iki kaynaktan güç almaktadır^[32].

Öte yandan ABD ordusu yakın bir tarihte, batarya şarjı yerine hidrojenle çalışan Chevrolet Colorado ZH2 yakıt hücreli elektrikli kamyonla denemelere başlamıştır. Ordu, GM’nin gelişmiş savunma hareketliliği gereksinimlerine odaklanan bir iş birimi olan General Motors Defense aracılığıyla elektrikli taktik araçlara yatırım yapmaktadır. ABD Savunma Bakanlığının Savunma İnovasyon Birimi bu araçları test etmeye başlamıştır. Hava Kuvvetleri ise Hawaii’de hidrojen yakıtlı taktik olmayan araçlar kullanmakta ve bu da hibrid güç aktarma organı tasarımlarının taktik araçlar için uygun olabileceğini göstermektedir^[33]. Bu kapsamda, dünyanın, yeşil amonyakla çalışan deniz taşımacılığının yaygınlaşmasıyla ilk yeşil hidrojenle çalışan donanmaların ortaya çıkışına tanık olmasının sadece bir zaman meselesi olduğunu savunan görüşler vardır^[31].

Savunma sanayiinde hidrojenin oyun değiştirici olabileceğine dair işaretlerden biri de hidrojenle çalışan İHA’ların bazı ülkelerde sahneye çıkmaya başlamasıdır. Örneğin drone geliştirme ve ticarileştirme odaklı bir İsrail şirketi olan HevenDrones, kısa süre önce ilk ticari sınıf hidrojenle çalışan drone’u olan H2D55’i tanıtmıştır. Geleneksel lityum pillerle çalışan drone’lardan beş kat daha fazla enerji verimliliğine sahip olan H2D55, 100 dakikaya kadar uçabilmekte ve 7 kg’lık bir yük taşıyabilmektedir^[31].

Savunma sanayiinde hidrojenin olanaklarını geniş çaplı araştıran ve bu alanda çeşitli uluslararası işbirliklerine imza atan ülkeler arasında Hindistan göze çarpmaktadır. Açıklanan Yeşil Hidrojen Misyonu, Hindistan’ı gelecekte yeşil hidrojen merkezi hâline getirmeyi hedefleyen iddialı bir yaklaşımdır. Yeşil hidrojenin ülke içinde üretilmesi için büyük çaba harcayan ve yatırımlar yapan

Hindistan yönetimi, beklendiği gibi hidrojenin fiyatı gelecekte düştüğünde savunma sanayiinde de uygun fiyatlı bir enerji kaynağını yerel olarak buldurmak imkânına kavuşmak için gün saymaktadır. Hindistan bu yakıtı yaklaşan İHA teknolojilerinde ve donanmasında genişçe kullanmayı planlamaktadır^[32].

Hindistan’ın yeşil hidrojen adımlarını önemli kılan gelişmelerden biri, gelecekte yeşil hidrojenden elde edilen amonyak ile çalışan bir denizcilik endüstrisine sahip olma umutlarının gün geçtikçe bir gerçekliğe dönüşme yolunda olmasıdır. Amonyak yaygın ve bol olduğundan, hem yakıt hücresi hem de içten yanmalı motorlar tarafından kullanılabilir ve yüksek basınçlı tanklarda depolanması gerekmez. Küresel denizcilik endüstrisi devleri MISC Berhad, Samsung Heavy Industries (SHI), Lloyd’s Register ve MAN Energy Solutions, amonyak yakıtlı bir tanker için ortak bir geliştirme projesi üzerinde birlikte çalışmaktadırlar^[32].

Savunma sanayiinde yeşil hidrojene geçiş hedefleri doğrultusunda Hindistan çeşitli ülkelerle işbirlikleri de geliştirmektedir. Bu ülkelerden biri de Mısır’dır. Mısır Hükümeti, 2022 yılında Sokhna’da yeşil hidrojen ve amonyak üretim tesisleri kurmak için Hint enerji grubu ACME’nin de dahil olduğu uluslararası şirketlerle yedi yeni anlaşma imzaladığını duyurmuştur^[34]. ACNE şirketinin Mısır ile imzaladığı anlaşma yıllık 2,2 milyar ton yeşil hidrojen üretmek için 13 milyar dolarlık bir yatırım içermektedir^[35].

Bundan kısa bir süre sonra Mısır ile imzalanan Mutabakat Zaptı çerçevesinde, Süveyş Körfezi’nde bulunan Ain Sokhna’daki Süveyş Kanalı Ekonomik Bölgesi’nde (SCZONE) Hint şirketlerinin yeşil hidrojen üretimine yatırım yapmak istemesi Mısır tarafından memnuniyetle karşılanmıştır^[34]. Ayrıca Mısır Hükümeti, Süveyş Kanalı Ekonomik Bölgesi’nde 8 milyar dolarlık bir yatırımla bir yeşil hidrojen tesisi kurmak için Hindistan’ın Renew Power şirketiyle başka bir çerçeve anlaşması imzalamıştır. Bu tesisin yıllık 220.000 ton yeşil hidrojen ve türevi üretimine sahip olması beklenmektedir. Mısır’ın ülkede başka bir yeşil hidrojen projesi oluşturmak için mutabakat zaptı imzaladığı diğer bir Hint şirketi de Ocior Energy’dır^[35].

Nisan 2022’de İngiltere ve Hindistan, uygun fiyatlı yeşil hidrojeni hızlandırmak için sanal bir Hidrojen Bilimi ve İnovasyon merkezinin (Hydrogen Science and Innovation hub) yanı sıra COP26’da duyurulan Yeşil Şebekeler Girişimi için yeni fonlar ve Hindistan genelinde toplu taşımacılığın elektrifikasyonu için ortak çalışma konusunda işbirliği başlatmıştır. Bu çerçevede her iki hükümet Hindistan’dan Hint Pasifik bölgesine ve Afrika’ya temiz teknoloji inovasyonları sunmak için 75 milyon pound tahahhütte bulunmuştur^[36].

Yakın bir tarihte Hindistan Hükümeti NTPC Renewable Energy Ltd. şirketiyle ordunun fosil yakıtlara bağımlılığını azaltmayı amaçlayan yeşil hidrojen projeleri yürütmek için mutabakat zaptı imzalamıştır. Anlaşma kapsamında, aşamalı bir şekilde elektrik sağlamak amacıyla yeşil hidrojen projelerinin oluşturulması için potansiyel alanlar ortak bir şekilde tanımlanacak ve NTPC şirketi Hindistan ordusu için yenilenebilir enerji projeleri

tasarlayacak, geliştirecek ve yürütecektir^[37]. Bunun yanında Hindistan ordusu 2023'ün Mart ayında Çin sınırı boyunca ileri bölgelerde yeşil hidrojen bazlı bir mikro şebeke enerji santrali projesinin kurulması için bir süreç başlattığını açıklamıştır^[38].

3.5.5 Savunma Sanayiinde Yeşil Hidrojen Kullanımının Avantaj ve Dezavantajları

Yaşanan bu gelişmeler doğrultusunda yeşil hidrojenin önümüzde dönemde ülkelerin silahlı kuvvetlerinde ve savunma sanayilerinde çok daha büyük rol oynayacağını öngörmek zor değildir. Ancak bu sürecin hızlanması için aşılması gereken bazı güçlükler bulunmaktadır. Bazı ülkelerin silahlı kuvvetlerinde, hidrojen enerjisi üretme süreci ve faydaları hakkında bilgi eksikliği bulunması bunlardan biridir. Hidrojen enerjisine yönelik olumsuz tutumlar, silahlı kuvvetlerde hidrojenin konuşlandırılmasının önünde önemli bir engel olabilmektedir^[28].

Savaş senaryolarında silahlı kuvvetlerde hidrojen teknolojisinin benimsenmesinin önündeki yaygın bir endişe de yangın güvenliğidir. Hidrojen sızıntısına karşı alınan önlemler ve sızıntı tespiti, savunma sektörü için eşit derecede önemlidir. Hidrojenin yanıcılığı, silahlı kuvvetlerin hidrojen teknolojilerini kullanma çabalarında karşı karşıya kaldıkları önemli bir sorun gibi görünmektedir^[28].

Hidrojen kullanımında havacılık ve uzay endüstrisinin karşılaştığı en büyük zorluklardan biri ise, güvenli ve verimli depolama ve dağıtım sistemlerinin geliştirilmesidir. Hidrojen yüksek basınçlı hantal ve ağır tanklarda depolanmakta, bu da uçak ve uzay araçları için bir sorun oluşturabilmektedir. Ayrıca, hidrojen yakıt hücreleri dayanıklı olmalı ve zorlu uçuş koşullarına dayanabilmelidir^[27].

Hidrojenin önünde bazı engellerin bulunmasına rağmen, kullanımı özellikle havacılık, denizcilik ve araç taşımacılığında umut vericidir. Hidrojen askeri birimlerin hareketliliğini artıracak ve enerji depolamayı kolaylaştıracaktır.

“Silahlı Kuvvetlerde Hidrojen Kullanımı için Beklentiler” başlıklı raporda silahlı kuvvetlerde hidrojen kullanımı, hidrojen depolaması ve hidrojen teknolojisi ve altyapısının geliştirilmesi konularında NATO'ya yönelik olarak şu öneriler getirilmiştir^[28]:

- Silahlı kuvvetlerde kullanılmak üzere hidrojen teknolojisinin araştırılması ve geliştirilmesine ayrılan fonların artırılması NATO'nun çıkarıdır.
- Araştırma sonuçlarının hidrojen kullanımına dönüştürülmesi ve pilot projelerin hayata geçirilmesi esastır.
- NATO üyesi devletler hidrojen teknolojisinin gelişimini hem ulusal hem de uluslararası düzeyde desteklemelidir.
- Kilit öneme sahip olan, gelişimin önündeki engellerden birini ortadan kaldıracak olan konu, hidrojen depolama teknolojisinin uygulanması olacaktır.
- Hidrojen altyapısının silahlı kuvvetler tarafından benimsenmesini desteklemek için stratejik kılavuzlar geliştirmeleri NATO üyesi ülkelerin yararına olacaktır.

4. DÜNYADA YEŞİL HİDROJEN POLİTİKALARI

4.1 Düzenleyici Kurumların Regülasyonları Çerçevesinde Bölgesel Gelişmeler

4.1.1 ABD

ABD'nin Enflasyonu Düşürme Yasası (Inflation Reduction Act), 2030 yılına kadar yeşil hidrojenin sürdürülebilir şekilde üretiminin maliyetini azaltabilecek sübvansiyonlar içermekte^[39],^[40] ve bunun 30 milyar dolardan fazlası hidrojen içeren programlara ayrılmaktadır^[41].

Sübvansiyonlar üreticilerin temiz hidrojen üretimi için kilogram başına 3 dolara kadar para almalarını desteklemeye yardımcı olacak ve yeşil hidrojen üreticileri bu krediden mavi hidrojen üreticilerinden daha fazla yararlanacaktır. Bu nedenle, Yeşil Hidrojen Örgütü, ABD'de bazı bölgelerin yeşil hidrojen üretmek için dünyanın en ucuz destinasyonları olabileceğini öngörmektedir. Goldman Sachs'a göre, karbonsuzlaştırma ve net sıfır karbon emisyonuna ulaşmak, yalnızca hidrojen üretimi için 2050 yılına kadar toplam 1 trilyon dolarlık bir pazar anlamına gelebilecek 5 trilyon dolarlık kümülatif yatırım gerektirmektedir^[42].

4.1.2 Avrupa Birliği

Temmuz 2020'de kabul edilen “AB Hidrojen Stratejisi”^[43], hidrojeni Avrupa Yeşil Mutabakatı'na ulaşmak için kilit öncelik olarak tanımlamaktadır. Stratejide yatırım desteği; üretim ve talebi desteklemek; hidrojen pazarı ve altyapısı oluşturmak; araştırma işbirliği ve uluslararası işbirliği olmak üzere beş alanda politika eylem maddeleri önerilmiştir^[44]. Bloğun stratejisi, 2030 yılına kadar 40 GW yenilenebilir hidrojen elektrolizör kapasitesi kurmayı hedefleyen emisyonuz yeşil hidrojene odaklanmaktadır^[45].

Yenilenebilir hidrojenin tanımlarını belirleyen ve uzun zamandır beklenen Yetki Devrine Dayanan Tasarruf Yasası (Delegated Act), 2023'ün Şubat ayında Avrupa Komisyonu tarafından yayınlanmıştır. Böylece üreticilerin ve yatırımcıların, ürettikleri hidrojenin AB içinde “yenilenebilir” olarak satılabileceği ve ticaretinin yapılabileceği konusunda ihtiyaç duydukları kesinlik sağlanmıştır^[46]. Yetki Devrine Dayanan Tasarruflar, enerji altyapısı yatırımları ve devlet yardımı kuralları ile endüstri ve ulaşım sektörleri için yenilenebilir hidrojene yönelik yasal hedefleri içeren geniş bir AB düzenleyici çerçevesinin parçasıdır^[47]. AB'nin, Rusya'nın fosil yakıtlarına olan bağımlılığını sona erdirmeye planı REPowerEU, 2030 yılına kadar hidrojen altyapısı için 27 milyar avroluk yatırım teklifi içermektedir. Avrupa Komisyonu ayrıca 2030 yılına kadar 10 milyon ton yenilenebilir hidrojen üretme ve yılda 10 milyon ton daha ithal etme hedefini açıklamıştır^[48]. Bu hedefe ulaşmak için, AB'nin ilave yenilenebilir enerji kaynakları dahil toplamda 335 ila 471 milyar avroya ihtiyacı olduğu belirtilmektedir^[49].

Avrupa Komisyonu ve AB gibi Avrupa'nın düzenleyici kurumları yeşil hidrojenin teşviki yönünde peş peşe adımlar atmaya devam etmektedir. Bunlardan biri

Avrupa Komisyonu tarafından 2023 sonunda faaliyete geçeceği duyurulan Avrupa Hidrojen Bankasıdır. Bankanın hedefi, yenilenebilir hidrojen arzını Avrupalı alıcıların artan talebiyle birleştirmektir. Banka ayrıca hidrojen ithalatını da önceliklendirmekte ve bu kapsamda üçüncü ülke tedarikçileri veya üçüncü ülke üreticileriyle sözleşme yapan AB alıcıları yeşil bonus almaya hak kazanabileceklerdir. AB Hidrojen Bankasının devreye girmesinin arka planında yatan unsurlardan biri de hidrojen projelerinin henüz sadece yüzde 10'unun nihai yatırım kararına ulaşmış olmasıdır. Banka önümüzdeki yıllarda yurtdışında üretilen hidrojenin ithalatını kolaylaştırmayı amaçlasa da, henüz bunun hangi mekanizmalarla destekleneceği netlik kazanmamıştır^[49].

Avrupa Komisyonu ayrıca 2023'ün Aralık ayında yeşil hidrojen desteği için toplam 800 milyon avroluk ihale düzenleyeceğini açıklamıştır. Bu kapsamda kazananlar teklif verdikleri miktar kadar, 10 yıl boyunca, kg başına en fazla 4 avro yeşil hidrojen üretim teşviği alacaktır. İhale sadece yeşil hidrojen üretimi için planlanmıştır. Teşviklere hak kazanabilmek için şirketlerin elektrolizörlerinin yüzde 100 yeşil elektrik kullandığını kanıtlamaları gerekmekte, bu nedenle şirketlerin 2030 yılına kadar her ay, 2030 yılından sonra ise her saat Avrupa Birliğine veri yollamaları gerekmektedir. Sadece yeşil hidrojen üretimi için planlanan ihale, Avrupa Hidrojen Bankasının gelecek seneye yapacağı 3 milyar avroluk sübvansiyon için deneme olarak planlanmıştır. Kazanan şirketlerin en az 5 MW'lık elektrolizör kurmayı planlamaları ve tesisin 3,5 sene içerisinde yüzde 100 çalışır hâle gelmesi gerekmektedir. Şirketler alacakları desteğin yüzde 7,5'i için de ipotek verecek ve projenin tamamlanmaması halinde AB bu ipotega el koyabileceklerdir^[50].

Hidrojen ekonomisi oluşturma yönündeki politikaların hızlandığının önemli göstergelerinden biri de Avrupa Enerji Borsasının (EEX) Mayıs 2023'te, henüz işlem gören bir yenilenebilir hidrojen pazarı olmamasına rağmen, fiyat şeffaflığını artırmak amacıyla Hydrinx adı verilen ilk piyasa tabanlı yeşil hidrojen fiyat endeksini başlatması olmuştur. EEX, dünyanın ilk yeşil hidrojen fiyat endeksinin net sıfır emisyon yarışında önemli bir gelişme olacağına inandığını duyurmuştur. EEX, haftalık güncellemelerini, potansiyel alıcıların ve satıcıların teorik olarak haftalık bazda hangi fiyattan ödeme yapmaya veya satmaya istekli olacaklarına dayandıracaktır^[51].

Avrupa ülkeleri genel olarak işbirliği içinde kıtayı hidrojen odaklı bir enerji geleceğine hazırlamaktadır. Bu kapsamda 2022'nin Aralık ayında İspanya, Fransa ve Portekiz, yeşil hidrojeni Portekiz'den İspanya'nın Zaragoza şehrine ve Barselona limanından Marsilya'ya taşıyacak boru hatları inşa edeceklerini duyurmuştur. Üç ülke attıkları bu adımla yeşil hidrojen konusunda Avrupa'da önemli bir rol üstlenmeye hazırlanmaktadır. H2MED aldı projenin 2,5 milyar avro değerinde olduğu öngörülmekte ve boru hatlarının 2030 yılına kadar faaliyete geçerek AB içinde tüketilen tüm hidrojenin yüzde 10'unu taşıması beklenmektedir. Başlangıçta doğalgaz da taşıması planlanan Barselona-Marsilya boru hattı, İspanya'nın, AB finansmanı sağlamak için bundan

vazgeçmesiyle tamamen hidrojen taşımacılığına angaje edilmiştir^[52]. 2023'ün Ocak ayında Almanya'nın da bu projeye katıldığı duyurulmuştur. Böylece söz konusu boru hattının Almanya'ya kadar uzatılması kararlaştırılmıştır^[53]. Ancak projeye ilgili bazı pürüzler ortaya çıkmıştır. Fransa, nükleer enerjiden elde edilen elektriği yeşil olarak etiketlemek istemiş, ancak Almanya ve İspanya buna karşı çıkmıştır^[54]. Rystad Enerji'nin 2023'ün Nisan ayındaki açıklamasına göre, dört şebeke operatörü -İspanya'nın Enagas, Portekiz'in REN ve Fransız GRT ile Terega- söz konusu hidrojen boru hattının düzen ve maliyet değerlendirmelerini yürütmeye devam etmektedir^[55].

4.1.3 Afrika

Dünyadaki yeşil hidrojen atılımının yoğun yaşandığı bölgelerden biri de Afrika kıtasıdır. Kıtanın hem kuzeyi hem de güneyinde peş peşe yeni yeşil hidrojen projeleri hayata geçirilmektedir. Ülkeler arası işbirliği de kıtada gittikçe yaygınlaşmaktadır.

2022'nin Mayıs ayında Fas, Moritanya, Mısır, Kenya, Namibya ve Güney Afrika temiz ve uygun fiyatlı enerjiye erişimi artırmak için Afrika Yeşil Hidrojen İttifakı'nı başlatmıştır^[56]. Altı üyeli ittifak, ilgili ülkelerde yeşil hidrojen gelişimini ilerletmek için kurucu üyeleri arasındaki işbirliğini teşvik etmekte, kamu ve özel sektörü hidrojen üretim maliyetlerini düşürmek için birlikte çalışmaya çağırmaktadır. Politika reformlarının benimsenmesi, yerel kapasitelerin oluşturulması ve yerel ihtiyaçları karşılamak için yeşil hidrojen üretimine yatırımların teşvik edilmesi gibi talepleri bulunan Afrika Yeşil Hidrojen İttifakı, BM İklim Değişikliği Üst Düzey temsilcileri, Yeşil Hidrojen Örgütü, Afrika Kalkınma Bankası ve BM Afrika Ekonomik Komisyonunun desteğini almıştır.

Birçok Afrika ülkesi, güçlü güneş ve rüzgâr enerjisi potansiyelleri ve ekilebilir olmayan büyük arazi dilimleriyle yeşil hidrojen geliştirmek için çok uygundur. İttifak üyeleri aynı zamanda, kıtada yeşil enerjinin öncüleri arasında bulunmaktadır. Örneğin, Güney Afrika'nın Northern Cape'deki 10 GW elektroliz kapasitesi ve 2030 yılına kadar yılda yaklaşık 500 kiloton hidrojen yerleştirme hedefinin, o zamana kadar yılda 20.000 ve 2040'a kadar 30.000 kişilik iş yaratacağı tahmin edilmektedir. Namibya'nın planlanan 9,4 milyar dolar tutarındaki yeşil hidrojen projesinin, inşaatı sırasında 15.000 kişilik iş ve 3.000 daimi pozisyon yaratması beklenmektedir. Mısır, Moritanya ve Fas'ta da kapsamlı yeşil hidrojen projeleri planlanmaktadır^[57].

Çok büyük kullanılmayan yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip Kuzey Afrika'nın hidrojen üretme potansiyeli çok yüksektir. Seyrek nüfuslu devasa arazi alanlarına ve olağanüstü güneş ışınlama seviyelerine ve büyük bir rüzgâr kaynağına sahip bölge ülkeleri dünya hidrojen denklemine önemli rollere sahiptir. Örneğin kara kütlesine göre dünyanın onuncu büyük ülkesi olan Cezayir yılda ortalama 3.000 saat güneş ışığından yararlanırken, Fas güneyde 7.5-9.5 m/s ve kuzeyde 9.5-11.0 m/s ortalama rüzgâr hızlarından yararlanarak 200 GW'lık açık deniz rüzgâr potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte Kuzey Afrika, hidrojen üretimi için gerekli olan içme suyu fazlalığına ve gelişmiş elektrik altyapısına sahip değildir. UNICEF'e

göre, Ortadoğu ve Kuzey Afrika (MENA) bölgesi dünyada en çok su sıkıntısı çeken bölgedir. Bunun yanında hidrojen ticaretinin yüksek nakliye maliyetleri nedeniyle uluslararası değil bölgesel olacağını savunan görüşler vardır. Ancak yine de Kuzey Afrika'nın Avrupa'ya yakınlığı bir avantajdır ve Cezayir'den İspanya ve İtalya'ya, Libya'dan da İtalya'ya gaz boru hatları zaten mevcuttur. Bu nedenle yeniden tasarlanan boru hatları, hidrojen taşımacılığının en ucuz aracı olarak tanımlanmaktadır^[58].

4.2 Seçilmiş Ülkelerde Yeşil Hidrojen Politikaları

4.2.1 ABD

Dünyanın en büyük ikinci sera gazı salımı gerçekleştiren ülkesi konumundaki ABD, enerji sektörünü 2035 yılına kadar karbondan arındırma ve 2050 yılına kadar net sıfır emisyona ulaşma yönünde birbiri ardına teşvik ve hibe paketleri açıklamaktadır^[59]. Yeşil hidrojen yatırımlarına da bu kapsamda büyük önem verilmektedir.

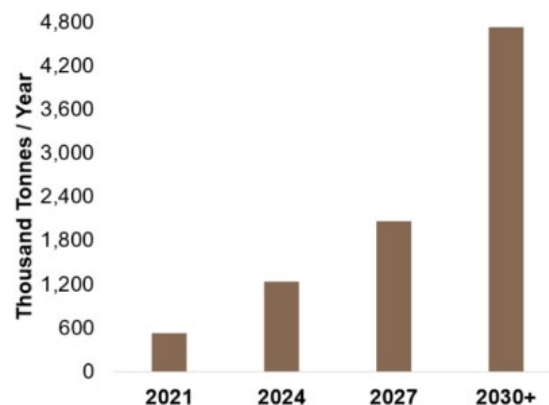
ABD, Çin'den sonra dünyanın en büyük ikinci hidrojen üreticisi ve tüketicisidir. Kaliforniya gibi eyaletler, Temiz Araç İndirim Programı (Clean Vehicle Rebate Programme) gibi girişimlerle ülkenin yakıt hücreli araçlar pazarındaki büyümesi 10 yıldan fazla bir süredir desteklenmektedir. ABD, 2020 yılına kadar bu alanda dünyaya öncülük etmiştir. Hükümetin çıkardığı 2021 Altyapı Yatırımları ve İstihdam Yasası (Infrastructure Investment and Jobs Act of 2021), temiz hidrojen gelişimini artırmak için 9,5 milyar dolarlık bir bütçe içermektedir. Bunu, hükümetin Hidrojen Earthshot programının başlatılması izlemiştir. Program temiz hidrojenin maliyetini "1 on yıl içinde 1 kilogram başına 1 dolara" düşürmeyi hedeflemesinden ötürü "111 hedefi" olarak adlandırılmıştır^[45].

ABD'de, önümüzdeki beş yıl için toplam değeri 14 milyar dolar olan 30 yeşil hidrojen projesi planlanmaktadır. Mississippi, Kaliforniya, Louisiana ve Teksas, önümüzdeki 10 yıl boyunca yeşil hidrojen projelerine en çok harcama yapacak eyaletler olarak öne çıkmaktadır. 2023'te ABD'de hayata geçmiş ya da planlama aşamasında olan beş önemli hidrojen projesi bulunmaktadır^[59].

● **St. Gabriel Yeşil Hidrojen Tesisi:** Proje, yakıt hücresi pazarına tedarik sağlamak için Louisiana'da günde 15 ton kapasiteyle 2023 yılında faaliyete geçen bir yeşil hidrojen tesisidir. Plug Power ve Olin Corporation şirketleri, Hidrogenii adlı bir ortak girişim başlatmıştır. Olin hidrojen üretecek ve operasyonel destek sağlayacak, Plug Power ise hidrojenin pazarlanmasından ve lojistik destek sağlanmasından sorumlu olacaktır. İnşası 2023'te 215 kişilik iş yaratacak olan tesisin daha sonra Louisiana'da 25'ten fazla kalıcı tam zamanlı iş yaratması beklenmektedir. Bu tesis, Plug'ın New York, Tennessee, Georgia, Teksas ve Kaliforniya gibi farklı bölgelerde büyüyen ulusal hidrojen tesisleri ağına katılacaktır. Plug, 2025 yılına kadar 500 ton/gün sıvı yeşil hidrojen üretmeyi ve Kuzey Amerika'da 4,3 milyon ton karbondioksit emisyonunu önlemeyi beklemektedir. Şirket, 2028 yılına kadar 1.000 ton/gün sıvı yeşil hidrojen üretmeyi öngörmektedir^[59],^[60].

- **Sauk Vadisi Yeşil Hidrojen Tesisi:** ABD Illinois'de Invenergy şirketi tarafından işletilen ilk yeşil hidrojen projesidir. Proje, Invenergy'nin ortak güneş enerjisi santralinden ve Ohmium International düşük karbonlu elektrolizör teknolojilerinden gelen gücü kullanarak yeşil hidrojen üretecektir. 2023 yılında faaliyete geçecek olan tesis, yılda 52 ton kapasiteye sahip olacak ve sahada 400 kg hidrojen depolayabilecektir. Tesis, saatte 6 kg hidrojen üreten Ohmium'un PEM elektrolizörü ile donatılacaktır.
- **Kingsland Yeşil Hidrojen Tesisi:** Bu proje, Camden County, Georgia'da Plug Power tarafından işletilen yeşil bir hidrojen tesisidir. Tesis günde 15 ton hidrojen üretecek ve bu hidrojen nakliye için yüklenmeden önce sıvılaştırılacak ve depolanacaktır. Projenin 200'den fazla inşaat işi yaratması ve 2023 yılı sonuna kadar faaliyete geçmesi beklenmektedir.
- **Casa Grande Yeşil Hidrojen Tesisi:** Arizona'daki Casa Grande yeşil hidrojen tesisi, günde 10 ton üretim yapan Air Products'a ait olacaktır. 2023'te akışta olması beklenen tesis Kaliforniya ve diğer yerlerdeki mobilite pazarı için hidrojen satacaktır. Tesis, Air Products'ın tescilli teknolojisi kullanılarak sıvı hidrojene dönüştürülecek olan gaz hâlindeki hidrojeni üretmek için iki adet ThyssenKrupp Nucera elektrolizörü kullanılacaktır. Tesis ayrıca ürünü müşteri konumlarına dağıtmak için bir terminal içerecektir.
- **Donaldsonville Yeşil Hidrojen Projesi:** Donaldsonville, Louisiana üretim kompleksinde yeşil hidrojen üretmek için 20 MW'lık bir alkali su elektroliz tesisi inşa edilmektedir. Tesis mevcut amonyak sentez döngülerine entegre edilecek ve yılda 20.000 ton yeşil amonyak üretecektir. CF Industries tarafından yönetilecek olan projenin inşaat ve kurulumunun 2023 yılında bitmesi beklenmektedir ve tesis tamamlandığında Kuzey Amerika'da türünün en büyüğü olacaktır.

Küresel hidrojen ekonomisine liderlik etme yarışında, ön planda olma potansiyeline sahip bölgelerden biri de Kuzey Amerika'dır ve bu bölgede 2030 yılına kadar yılda yaklaşık 140 milyar dolarlık yeşil hidrojen üretilmesi beklenmektedir. 2022 yılı itibarıyla Kuzey Amerika'da 33



Şekil 3: Kuzey Amerika'da yeşil hidrojen kapasitesi^[59].

operasyonel yeşil hidrojen tesisi bulunmakta ve bölgedeki mevcut yeşil hidrojen kapasitesi yıllık olarak 691 bin ton civarındadır^[59].

2023'ün Nisan ayında Güneydoğu Hidrojen Merkezi isimli bir koalisyon, ABD'deki altı güneydoğu eyaletini kapsayan yeşil bir hidrojen ağı kurmak için federal fon başvurusunda bulunmuştur. Koalisyon üretim portföylerinde nükleer özelliklere sahip Battelle, Dominion Energy, Duke Energy, Southern Company ve Tennessee Valley Authority adlı şirketlerden oluşmaktadır. Enerji Bakanlığının H2Hubs olarak da bilinen bölgesel temiz hidrojen merkezleri geliştirmeye yönelik 8 milyar dolarlık programı 2022'de başlatılmıştır. Bu program kapsamında, temiz hidrojen ekonomisini kolaylaştırmak için ulusal temiz hidrojen ağına dönüştürülebilecek en az dört H2Hub'ın 2026 yılına kadar geliştirilmesi desteklenecektir^[61].

ABD'li start-up Green Hydrogen International'ın (GHI) 2022'de duyurduğu Güney Teksas'ta rüzgâr ve güneş enerjisiyle çalışacak tesisi ise depolama için kendi tuz mağarasına ve Elon Musk'ın SpaceX'i için temiz roket yakıtı üretme planına sahiptir. 60 GW'lık yenilenebilir hidrojen projesi tamamlandığında yılda 2,5 milyon tondan fazla yeşil hidrojen üretecek ve bu da bugün küresel gri hidrojen üretiminin kabaca yüzde 3,5'ine eşdeğer olacaktır.

Hidrojen Şehri'nin ilk 2 GW'lık aşaması, tuz kubbesinde iki depolama mağarası ile 2026'da faaliyete geçecektir. GHI, sürdürülebilir roket yakıtı, temiz havacılık yakıtı, gübre üretimi veya Asya'ya ihracat için yeşil amonyak veya enerji santrallerinde doğalgaz yerine kullanılmak üzere üreteceği hidrojen için çeşitli olası son kullanımları araştırmaktadır^[62].

ABD Enerji Bakanlığı, 2023'ün Mayıs ayında temiz hidrojen üretme, depolama ve dağıtmada kritik teknolojileri ilerletmek için yaklaşık 42 milyon dolarlık bir fon sağladığını açıklamıştır. Finansman sağlanacak 14 eyaletteki 22 projenin her biri ABD Enerji Bakanlığının Hidrojen ve Yakıt Pili Teknolojileri Ofisi tarafından

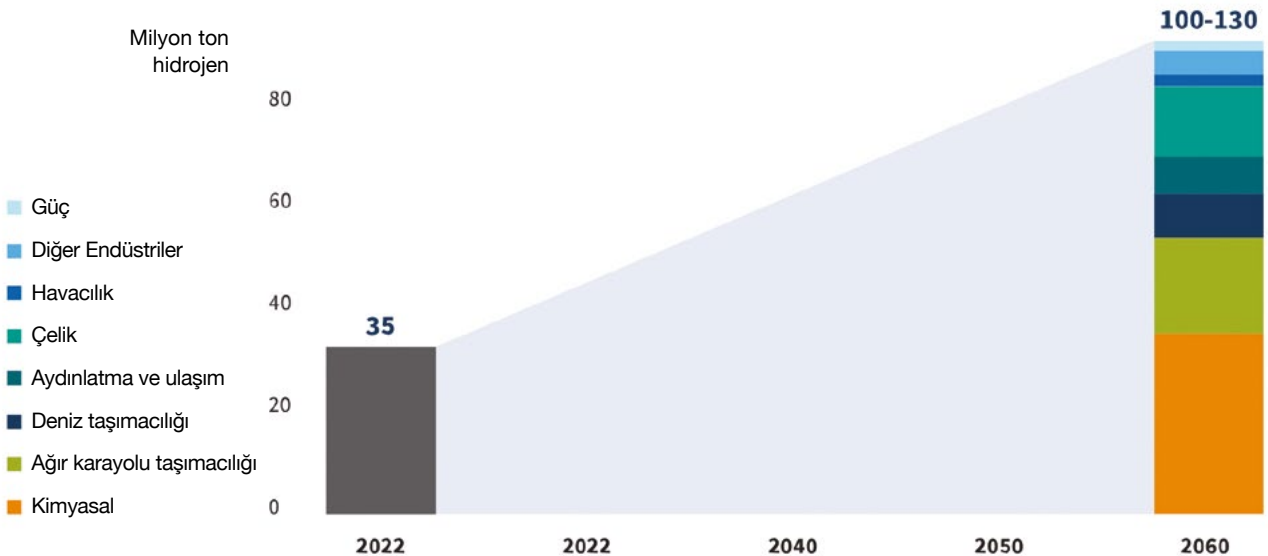
yönetilecektir. Güneş ışığından yararlanılarak oluşturulan güneş yakıtları için teknolojiler geliştirecek olan projeler, daha yüksek yoğunluklu ve daha düşük basınçlı hidrojen depolama teknolojilerini içerecek, hidrojen yakıt hücrelerinin maliyetlerini düşürecek ve hidrojen emisyonlarının tespitini ve izlenmesini iyileştirecektir^[63].

ABD Enerji Bakanlığı 2023'ün Mayıs ayında temiz hidrojenin maliyetini 2031 yılına kadar kg başına 1 dolara düşürme çabasının bir parçası olarak, elektrolizörler veya fotovoltaik panelleri kullanmadan yeşil hidrojen üretmenin deneysel bir yöntemi olan güneş fotokatalizörüne yönelik araştırma ve geliştirme için de 19 milyon dolardan fazla fon sağladığını açıklamıştır. Güneş fotokatalizörünün, yeşil hidrojen üretmek için güneş panelleri ve elektrolizörler kullanmaktan daha uygun maliyetli olabileceği umulmaktadır^[64].

Enflasyon Azaltma Yasası'nın kabul edilmesinden sonra önde gelen ABD enerji şirketlerinin yeşil hidrojen pazarına girişlerinin arttığı gözlemlenmektedir. Bunlardan biri olan NextEra yeşil hidrojene yatırım yapmak üzere 20 milyar dolar ayırdığını ifade etmektedir^[65]. Şirket, 2022'nin yaz aylarında sera gazı emisyonlarını 2045 yılına kadar sıfıra yakın bir seviyeye düşürme hedefi belirlemiştir. Şirket, büyük güneş enerjisi projeleri inşa etmeyi ve Florida'daki gaz yakıtlı enerji santrallerinin çoğunu hidrojenle çalışacak şekilde dönüştürmeyi planlamaktadır.

4.2.2 Çin

Çin, hazırladığı "Hidrojen Endüstrisi Orta ve Uzun Vadeli Kalkınma Planı (2021-2035)" ile 2025 yılına kadar 50.000 hidrojen yakıt hücreli aracı trafiğe çıkarmayı ve bir dizi hidrojen yakıt ikmal istasyonu kurmayı hedeflemektedir. Plan, yenilenebilir hammadde kaynaklarını kullanarak yeşil hidrojen üretiminin 2025 yılına kadar yılda 100.000 ila 200.000 ton arasında bir seviyeye ulaşmasını öngörmektedir. Plan, ulaşımın yanı sıra enerji depolama, elektrik üretimi ve sanayi gibi diğer sektörlerde de temiz



Şekil 4: Sıfır karbon senaryosu kapsamında sektörlere göre hidrojen talebi^[67].

hidrojen kullanımını hedeflemektedir^[66]. Yeşil hidrojenin stratejik rolü, planda uzun vadeli bir kalkınma hedefi olarak vurgulanmıştır^[67].

Çin, yıllık 33 milyon tondan fazla taleple dünyanın en büyük hidrojen üreticisi ve tüketicisi konumundadır. Çin'in karbon nötrlüğü hedefinin itici gücü altında, kimyasallar, çelik ve ağır taşımacılık sektörleri, sıfır karbonlu geçişi gerçekleştirmek için büyük miktarlarda yeşil hidrojene ihtiyaç duyacaktır. Çin'de yıllık hidrojen talebinin, 2060 yılına kadar 80 milyon ila 100 milyon ton yeşil hidrojen de dahil olmak üzere 100 milyon ila 130 milyon tona yükselebileceği düşünülmektedir^[67].

Ülkede hem yeşil hidrojen hedefi hem de teknoloji ve maliyet ilerlemesindeki eğilimlerle uyumlu olarak, öncelikle 2030 yılına kadar 100 GW'lık yeşil hidrojen hedefini gerçekleştirmek gerekmektedir. ABD'nin enerji uygulamalarını radikal bir şekilde iyileştirmeyi amaçlayan kâr amacı gütmeyen kuruluş Rocky Mountain Enstitüsünün "Çin'in Yeşil Hidrojen Yeni Çağının Açılması (The Opening China's Green Hydrogen New Era)" raporuna göre, Kuzeybatı Çin bölgesinin, bol yenilenebilir enerji kaynakları ve geleneksel kömür bazlı endüstriden gelen karbonsuzlaştırma talepleri nedeniyle en büyük yeşil hidrojen üreticisi (24 GW) olması beklenmektedir^[67].

Hazırladığı plan çerçevesinde hidrojen projelerine yönelik girişimlerini hızlandıran Çin önümüzdeki günlerde dünyanın en büyük yeşil hidrojen projesinin devreye alınacağını bildirmiştir. Çin'in en büyük petrol rafinerisi ve boru hattının işletmecisi olan Sinopec Group'un Kuqa'daki tesisinde 210.000 metreküp hidrojen depolayabilen bir depolama tankı saatte 28.000 metreküp taşıyabilen boru hattı boyunca sabit bir hidrojen akışı sağlamak için kullanılırken, projenin 13 elektrolizörü üç yerel üretici tarafından tedarik edilmiştir^[68]. Ancak yılda 20.000 ton yeşil hidrojen üretecek bu tesisin saltanatının uzun sürmesi beklenmemektedir, zira yeşil hidrojen konusunda kendisiyle yarışan Çin'in bir başka projesi dünyanın en büyüğü unvanını ele geçirmeye hazırlanmaktadır. Sinopec Group, 2023'ün Şubat ayında yılda 30.000 ton yeşil hidrojen ve 240.000 ton oksijen üretecek büyük ölçekli bir yeşil hidrojen projesini Çin'in İç Moğolistan Özerk Bölgesi'ndeki Ordos'ta başlattığını duyurmuştur^[69]. Elektrolizör kapasitesi açıklanmayan projenin yaklaşık 390 MW'lık bir kapasiteye sahip olacağı düşünülmekte ve Çin medyası tarafından 450 MW rüzgâr ve 270 MW güneş enerjisi ile güçlendirileceği iddia edilmektedir^[68]. Tesis, 2025 yılına kadar yenilenebilir enerji yoluyla 100.000 ila 200.000 ton hidrojen üretmeyi ve karbondioksit emisyonlarını yılda 1 ila 2 milyon ton arasında azaltmayı hedeflemektedir. Ayrıca projenin hayata geçirilmesinden itibaren, elektroliz yoluyla hidrojen üretim kapasitesinin yılda 300.000 ton, hidrojen depolama kapasitesinin ise 288.000 metreküp olması öngörülmektedir^[70].

Çin ayrıca ilk bölgeler arası ve uzun mesafeli hidrojen boru hattını kurmaya da hazırlanmaktadır. 400 kilometrelik hat, ilk aşamada yılda 100.000 ton hidrojen taşıyacaktır^[71]. Çin'in en büyük petrol rafinerisi ve boru hattının işletmecisi olan Sinopec'in başkanı Ma Yongsheng, projenin ülkenin ilk bölgeler arası ve uzun mesafeli

hidrojen boru hattı olacağını ve projeye hidrojenin ülkenin kuzeyinde yer alan İç Moğolistan Özerk Bölgesi'nin Ulanab kentinden başkent Pekin'e transfer edileceğini açıklamıştır^[72].

4.2.3 Hindistan

2070 yılına kadar net sıfıra ulaşma hedefini belirleyen Hindistan, bunun için ekonominin tüm alanlarında yenilenebilir enerji kullanımını artırmayı ülkenin enerji geçişinin merkezine oturtmuştur. Yeşil hidrojen, bu geçişi sağlamak için umut verici bir alternatif olarak kabul edilmektedir^[73]. 2022'nin Ocak ayında Ulusal Yeşil Hidrojen Misionunu onaylayan Hindistan Hükümeti, ülkeyi dünyanın önde gelen yeşil hidrojen üreticisi ve tedarikçisi yapmak niyetindedir. Hindistan 2030 yılına kadar yeşil hidrojen arz ve talebini teşvik etmek için toplam 2,4 milyar dolar finansal harcama ile yılda en az 5 milyon ton yeşil hidrojen üretim kapasitesinin geliştirilmesini ve ülkede yaklaşık 125 GW'lık bir yenilenebilir enerji kapasitesi ilavesi yapmayı arzulamaktadır^[74]. Hindistan, kurulu elektrik kapasitesinin yarısının 2030 yılına kadar fosil olmayan yakıt kaynaklarından karşılanmasını ve ülkenin 2070 yılına kadar net sıfır karbon emisyonuna ulaşmasını hedeflemektedir^[75].

Hindistan ulusal misionu çerçevesinde yaklaşık 50 milyon ton karbon emisyonu azaltımını ve fosil yakıt ithalatından bir trilyon rupi tasarruf etmeyi hedeflemektedir. 2030 yılına kadar küresel yeşil hidrojen talebinin en az yüzde 10'unu elde etmek için çaba göstereceği belirtilen Hindistan'ın ayrıca yeşil hidrojen üretmeye yardımcı olmak için 60 GW ila 100 GW arasında elektrolizör kapasitesi oluşturmayı planladığı vurgulanmaktadır^[76].

Hindistan, düşük maliyetli yenilenebilir kaynakları nedeniyle büyük bir yeşil hidrojen üretim merkezi olmak için iyi bir konumdadır. Yerel hidrojen talebinin 2030 yılına kadar 11 milyon tona ulaşması beklenen ülkede ulusal hidrojen misionu, yeşil hidrojenin toplam hidrojen talebindeki payını 2030 yılına kadar yüzde 46'ya çıkarabilecektir. Hindistan'ın mision için öngördüğü 2,4 milyar dolarlık bütçe Hindistan'ı ABD ve AB'den sonra yeşil hidrojene kamu finansmanı tahsis eden dünyanın önde gelen ülkelerinden biri hâline getirmektedir^[74].

Elektrolizör üretimine yönelik teşviklerin, Hindistan'da üreticileri özel üretim tesisleri kurmaya, ölçek ekonomilerini artırmaya ve elektrolizör maliyetlerini daha da azaltmaya teşvik etmesi beklenmektedir. Hidrojenin daha uzun mesafelerde taşınmasıyla ilgili ek maliyetler ve altyapı zorlukları göz önüne alındığında, mision yeşil hidrojen merkezlerine derin bir vurgu yapmaktadır. Mision, büyük limanların yakınında gübre ve rafineri birimlerinin yüksek olduğu bölgeleri kapsayan potansiyel konumlarla ülke genelinde lokasyonları belirlemeyi ve kilit yeşil hidrojen merkezleri geliştirmeyi amaçlamaktadır. Kâr amacı gütmeyen RMI adlı STK'nın "Yeşil Hidrojenden Yararlanma: Hindistan'da Derin Dekarbonizasyon Fırsatları" başlıklı raporuna göre, Ulusal Yeşil Hidrojen Misionu, Hindistan'ın sağlam bir yeşil hidrojen ekonomisi inşa etmesi, iklim hedeflerine ulaşması, enerji bağımsızlığı için çaba göstermesi ve endüstriyel rekabet gücünü güçlendirmesi için kritik bir adım olarak kabul edilmektedir^[74].

Ulusal Yeşil Hidrojen Misyonu, programı kapsamında ilk ihalelerini 2023'ün Haziran ayında başlatmayı planlamaktadır. Beş yıl boyunca sağlanacak teşvikler toplamda 15 GW elektrolizör üretim kapasitesinin ve üç milyon ton yenilenebilir hidrojenin finanse edileceğine işaret etmektedir^[77]. 2 milyar dolarlık bir plan kapsamında, yeşil hidrojen yakıt üreticilerine maliyetlerinin en az yüzde 10'una eşit teşvikler verilmesi planlanmaktadır^[75].

Hükümetin teşviki, endüstri kaynaklarına göre yeşil hidrojeni uygun fiyatlı hâle getirmeyi ve şu anda kg başına 300-400 rupi olan üretim maliyetini düşürmeyi amaçlamaktadır. Endüstri kaynaklarına göre gübre, arıtma ve demir-çelik birimleri şu anda fosil yakıtlardan elde edilen yılda 5 milyon ton gri hidrojen tüketirken, gri hidrojenin üretilmesinin kg başına yaklaşık 200 rupi maliyete sahip olduğu iddia edilmektedir^[76].

Hükümet finansal teşvikler sunarken, Hindistan'ın en büyük firmalarından bazıları yeşil hidrojeneye yatırım yapma taahhüdünde bulunmuştur. Bunlar arasında Adani Group ve Reliance Industries gibi holdingler ve devlete ait enerji şirketleri bulunmaktadır^[78].

4.2.4 Güney Kore

Hidrojen projelerinin geliştirilmesinde küresel bir lider olmak için iddialı planlar başlatan bir ülke de Güney Kore'dir. Doğu Asya ülkesi, enerjisinin üçte birini 2050 yılına kadar hidrojenden elde etmeyi planlamaktadır. 2021 yılı boyunca, Güney Kore Hükümeti tarafından hidrojen projelerine yapılan harcamalar yaklaşık 702 milyon dolar tutarında gerçekleşmiş ve 2022 yılı sonuna kadar kamu-özel hidrojenle çalışan yakıt hücreli elektrikli araç (FCEV) pazarı kurma taahhüdüyle 2,3 milyar dolardan daha fazla harcama yapılmıştır^[79].

Ocak 2019'da Hidrojen Ekonomisi Yol Haritasını açıklayan Güney Kore, bu plan çerçevesinde 2040 yılına kadar 6,2 milyon yakıt hücreli elektrikli araç üretmeyi ve en az 1.200 dolium istasyonu kurmayı, 41.000 hidrojen otobüsünü trafiğe çıkarmayı ve enerji üretimi için 15 GW yakıt hücresi tedarik etmeyi hedeflemektedir^[80].

Güney Kore Hükümeti 2023'ün Ocak ayında hidrojeni binalarda ve ulaşımda günlük yaşamın bir parçası olarak kullanacak altı "Hidrojen Şehri" (Pyeongtaek, Namyangju, Dangjin, Boryeong, Gwangyang ve Pohang) yaratmak üzere 193 milyon dolarlık bir yatırım açıklamıştır. Planlar arasında Pyeongtaek'te yeni bir hidrojen limanı ve "mavi hidrojen üretimi özel kompleksi" inşa edilmesi, tesisi limana bağlayan yaklaşık 15 km'lik yeni hidrojen boru hatları, apartman bloklarına ve ticari tesislere ısı ve güç sağlayacak taşıma üsleri ve yakıt hücreleri yer almaktadır^[81].

Başkent Seul yakınlarındaki Namyangju, "diğer yeni şehirlerden farklılaşmış bir hidrojen ekonomisine odaklanmış, kendi kendine yeten bir şehir" olmayı hedeflemektedir. Namyangju'da yakıt hücrelerinin toplu konutlara, kamu ofislerine, spor ve kültür merkezlerine, hidrojen dolium istasyonlarına, otobüslere, temizlik araçlarına, boru hatlarına ve biyogaz bazlı hidrojen üretim tesislerine kurulması planlanmaktadır. Planlara göre Dangjin ve Boryeong'da da benzer tesisler kurulacak ve

her ikisinde de hayvan gübresi gibi organik atıklardan hidrojen üreten tesisler inşa edilecektir. Ayrıca Gwangyang'da, apartman bloklarında, yüzme havuzlarında ve otobüslerde kullanılan hidrojen ek olarak, hidrojenle çalışan traktör ve drone'lar düşünülmektedir.

Ancak Güney Kore'nin büyük ölçüde ithalata dayanan bir hidrojen ekonomisi yoluyla karbondan arındırma planları üzerinde tartışma mevcuttur. Planları eleştirenler gelecekteki enerji maliyetlerinin önümüzdeki yıllarda yüksek olacağını ve ülkede üretilen ürünlerin başka ülkelerde üretilenlerle rekabet edemeyeceğini savunmaktadır. Güney Kore Hükümeti, yoğun nüfusu ve izole konumu nedeniyle ülkenin, Batı'daki muadillerinin çoğunun aksine, gelecekteki enerji ihtiyaçlarının çoğunu -ve net sıfır taahhütlerini- yenilenebilir enerji yoluyla karşılayamayacağına inanmaktadır^[81].

Güney Kore'nin en büyük hidrojen üretim kompleksi Gyeonggi eyaletindeki Pyeongtaek şehrinde 2022'de açılmıştır. Tesis 410.000 hidrojen aracı için yakıt tedarik edebilmektedir. Günde yedi tondan fazla hidrojen üretecek tesisin Güney Kore'nin karbon nötr yolculuğunda önemli bir rol üstleneceği düşünülmektedir^[82].

Güney Kore hidrojen konusunda diğer ülkelerle işbirliğine özel önem vermektedir. Güney Kore, güneş ve rüzgâr enerjisi gibi bol miktarda yenilenebilir enerji kaynağına sahip olması nedeniyle, hidrojen ekonomisine ve temiz hidrojen üretimine geçişte Şili ile işbirliği yapmanın yollarını araştırmaktadır^[81]. İngiltere'nin yeni nükleer santral projesine katılımı ve iki ülkenin açık deniz rüzgâr enerjisi, hidrojen ve diğer temiz enerji alanlarında işbirliği anlaşmalarını içeren ortak bir bildiri imzalayan Güney Kore, Avustralya'dan da hidrojen ithal etmektedir^[83].

4.2.5 Japonya

Japonya 2017'de dünyanın bir hidrojen stratejisi yayınlayan ilk ülkesi olmuştur. Ancak bu çarpıcı vizyona rağmen ilginç bir biçimde uzmanlar tarafından hidrojen stratejisinde başarısız ülkelerden biri olarak kabul edilmektedir. 2017 stratejisinin en önemli hedefleri, 10 yılın sonuna kadar ülke genelinde 800.000 hidrojen yakıt hücreli aracın trafiğe çıkması ve 900 hidrojen şarj istasyonunun kurulmasıydı. Hidrojenle çalışan yakıt hücreli araçlar, orijinal planın önemli bir parçasıydı. Hükümet, bu otomobillerin 40.000'inin 2020'ye kadar, 800.000'inin ise 2030'a kadar yollarda olmasını umuyordu. Ancak 2014'ten 2022'nin sonuna kadar ülkede sadece 7.700 adet yakıt hücreli araç satılmıştır. Uzmanlara göre, sübvansiyonlara rağmen batarya ile çalışan elektrikli otomobillerle karşılaştırıldığında araçların pahalı olması bu durumun nedenleri arasındadır. Benzer bir tabloyla konut sektöründe de karşılaşmıştır. "Enefarm" adlı konut yakıt hücresi programının 2020 yılına kadar 1,4 milyon ve 2030 yılına kadar da 5,3 milyon Japon evini donatması amaçlanırken, 2022'nin sonuna kadar sadece 465.000 sistem kurulmuş durumdadır^[84].

Ortaya çıkan başarısız tablonun ardından Japonya şu günlerde ilk hidrojen stratejisini revize etmeye hazırlanmaktadır. Yeni plana göre Japonya'nın mevcut hedefi, yıllık hidrojen arzını şu anda bulunduğu 2 milyon ton



seviyesinden 2030’da yaklaşık 3 milyon tona, 2040’ta 12 milyon tona ve 2050’de ise 20 milyon tona çıkarmaktır^[85]. Bu hedefe ulaşmak ve 15 yıl içinde hidrojen ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını ilerletmek için yaklaşık 113 milyar dolar kamu ve özel sektör yatırımı gerekeceği açıklanmıştır^[86].

Japon Hükümeti, karbon nötrlüğüne ulaşmayı ve enerji geçişine katkıda bulunmayı amaçlayan 150 trilyon yen (1,1 trilyon doların üzerinde) kamu-özel finansmanı için bir yol haritası çizen Yeşil Dönüşüm (GX) Temel Politikası taslağını açıklamıştır. Japonya, enerji arz güvenliğini artırmak ve karbon nötrlüğe ulaşmak için yeşil hidrojen ve amonyak değer zincirleri kurmaya ayrılan fonun üçte birinden fazlası ile 60 milyar dolar civarında yatırım yapmayı planlamaktadır. Fonların bir kısmı yurtiçinde kullanılacak olsa da, örneğin Avustralya veya Ortadoğu’da hidrojen üretmek için deniz aşırı ülkelere daha fazla yatırım yapılacaktır ve üretilen hidrojen daha sonra depolama ve kullanım için Japonya’ya taşınacaktır^[87].

4.2.6 Avustralya

Avustralya’nın mevcut Ulusal Hidrojen Stratejisi (2019), temiz, yenilikçi, güvenli ve rekabetçi bir hidrojen endüstrisi için bir vizyon belirlemektedir^[88]. Avustralya Hükümeti, yakın bir tarihte Avustralya’nın 2030 yılına kadar küresel bir hidrojen lideri olma yolunda kalmasını sağlamak için Ulusal Hidrojen Stratejisinin gözden geçirilmesine öncülük etmeye hazırlandığını duyurmuştur^[89].

Yeni stratejinin detayları beklenirken, 2023’ün Mayıs ayında Avustralya Yenilenebilir Enerji Ajansı (ARENA), Avustralya’da inşa edilecek en büyük yeşil hidrojen projelerini üstlenmek için 2 milyar dolarlık Hydrogen Headstart girişiminin kurulduğunu açıklamıştır. Hydrogen Headstart, 1 GW’a kadar hidrojen elektrolizör kapasitesi sağlayabilecek iki ila üç amiral gemisi projesini desteklemeyi amaçlamaktadır. Fonun, yenilenebilir elektrikle üretilen yeşil hidrojenin maliyetini düşürmesi, hidrojen sektörünü büyütmesi ve istihdam sağlaması beklenmektedir. Avustralya İklim Değişikliği, Enerji, Çevre ve Su Bakanlığının yaptığı bir modellemeye göre Avustralya’nın hidrojen endüstrisi 50 milyar dolarlık ek GSYH üretebilir ve 2050 yılına kadar yeni yenilenebilir enerji altyapısı

inşasından 13.000’den fazla bölgesel iş imkânı yaratabilir. ARENA son 10 yılda 650’den fazla yenilenebilir enerji projesi için 2 milyar dolardan fazla bütçe sağlamıştır^[90]. Avustralya Başbakanı Anthony Albanese, Mayıs 2023’te yaptığı bir açıklamada, ülkeyi “yenilenebilir enerji süper gücü” hâline getirme hedefi için fazladan 4 milyar Avustralya doları (2,7 milyar ABD doları) harcanacağını ifade etmiştir. Hükümet, rüzgâr ve güneş enerjisi kullanılarak oluşturulan yeşil hidrojen finansmanının, ülkeyi 2030 yılına kadar 1 GW elektrolizör kapasitesine sahip olma yolunda ilerleteceğini duyurmuştur^[91].

4.2.7 Almanya

Almanya, hidrojen teknolojilerinde küresel bir lider olmak için yola çıkan ülkelerden biri olarak bu hedefi yerine getirmek üzere 2020 yılında Ulusal Hidrojen Stratejisini onayladı. Yeşil hidrojenin geliştirilmesi için 7 milyar avro devlet yatırımı tahsis eden Almanya, 2030 yılına kadar 5 GW’lık bir üretim kapasitesi kurmayı planlamaktadır ve 2035-2040 yılına kadar 5 GW’lık ek kapasiteler üretilebilecektir. Hidrojen üretimi, elektroliz hizmetleri için ihaleler, yeni tesisler inşa etmek için sübvansiyonlar ve yeni pilot programlar yoluyla yapılacaktır. Onaylanan strateji ile üretimine vergi muafiyeti getirilen yeşil hidrojen fosil yakıtların kullanımını azaltmak için sanayi sektöründe teşvik edilecektir. Almanya ayrıca uçak motorlarında yeşil hidrojenin doğrudan kullanımını ve hibrid elektrikli uçuş (hidrojen/yakıt hücreleri/pil teknolojisinin kombinasyonu) için konseptler geliştirilmesini teşvik edecektir. Hidrojen Stratejisi ayrıca, yeşil hidrojen için daha elverişli üretim koşullarına sahip ülkelerle uluslararası ticaret ortaklıkları kurmak ve Alman teknolojilerini kullanarak büyük üretim tesisleri kurmak için 2 milyar avro içermektedir. Ortaklığın fosil yakıt bağımlılığını azaltmak anlamına da geldiği 31 potansiyel ihracatçı ülke (çoğunlukla Batı ve Güney Afrika’da bulunuyor) belirlenmiştir^[92].

Federal Hükümet, 2030 yılına kadar yaklaşık 90 ila 110 TWh hidrojen talebinin gerçekleşmesini öngörmekte, bu talebin bir kısmını karşılamak için, strateji çerçevesinde gerekli açık deniz ve kara enerji üretimi de dahil olmak üzere toplam kapasitesi 5 GW’a kadar olan üretim

tesislerinin 2030 yılına kadar Almanya’da inşa edilmesi gerekmektedir^[93].

Hidrojen stratejisi geliştiren birçok ülkeden farklı olarak Almanya, yenilenebilir kaynakları sınırlı bir ülke olması nedeniyle 2030 yılına kadar güneş ve rüzgâr enerjisinden üretilen 10 GW’lık yeşil hidrojen kapasitesi inşa etmek ve çelik veya çimento gibi endüstrilerin emisyonlarını azaltmak amacıyla deniz aşırı ülkelerden büyük miktarlarda hidrojen ithal etmek de istemektedir. Bu yüzden Almanya’nın enerji sektöründeki yedi şirket Nisan 2023’te, deniz kıyısından endüstriyel tüketim merkezlerine temiz hidrojen getirmek için bir ittifak kurduklarını açıklamıştır. Bu çerçevede, kuzeyden güneye hidrojen koridoru ittifakı ile ülkenin Kuzey Denizi’ndeki tek derin deniz limanı olan Wilhelmshaven’den üretim ve ithalat, yeniden tasarlanmış doğalgaz boru hatları veya yeni inşa edilen hidrojen boru hatları aracılığıyla kullanıcılara ulaştırılacaktır. Taraflar ittifakın amacını, “Kuzey Ren-Vestfalya ve Aşağı Saksonya’daki endüstriyel tüketim merkezleri ile hidrojen ithalatı ve üretimi için gelecekte bir lokasyon olarak konumlanacak Wilhelmshaven arasında bir ağ oluşturmak” olarak açıklamaktadır^[94].

Almanya’da ulusal altyapı da hükümetin yenilenebilir yakıt için pazar ölçeğini büyütme desteklemeye çalışmasıyla yeniden şekillenmeye başlamıştır. Bu çerçevede Alman Hükümeti 2023’ün Mayıs ayında, ülke genelinde hidrojen kullanımını hızlandırmak amacıyla ulusal bir çekirdek hidrojen boru hattı ağının oluşturulmasını onaylamıştır. Sistemin, enerji yoğun endüstrileri hedef alması ve Almanya’nın tüm bölgelerini birbirine bağlaması hedeflenmiş, ancak kesin rotalar henüz kararlaştırılmamıştır^[95].

Alman medyasında yayınlanan yakın tarihli bir habere göre de Almanya 2023 yılı içinde 2020 Ulusal Hidrojen Stratejisinde yeni bir güncelleme yaparak ayrı bir hidrojen ithalat stratejisi belgesi yayınlamayı planlamaktadır. Alman yayın organı *Tagesspiegel*’in yayınladığı belgeye göre Almanya, yeşil hidrojen üretimi için 2030 hedefini iki katına çıkarmayı, hidrojeninin yüzde 50-70’ini ithal etmeyi, hidrojen ve hidrojen türevleri için bir rezerv oluşturmayı planlamaktadır. Ülkedeki yurtiçi hidrojen talebinin, 2030 yılına kadar 95-130 TWh olacağı tahmin edilmektedir^[96].

Almanya’nın yeşil hidrojene yönelik bir diğer adımı ise, 2030 yılına kadar 30 GW açık deniz rüzgâr enerjisi üretme planının bir parçası olarak, Kuzey Denizi’nin bir alanını, bir hidrojen boru hattı ile kıyıya bağlanacak olan açık deniz yeşil hidrojen üretimi için ayırması oldu. Söz konusu alan, 1 GW’a kadar elektroliz kapasitesi sağlamaktadır. 2030 sonrasında Almanya’nın münhasır ekonomik bölgesindeki açık deniz rüzgâr çiftlikleri ve diğer Kuzey Denizi ülkeleri tarafından işletilen hidrojen altyapısı birbirine bağlanabilecek. 2035 yılına kadar, açık deniz boru hattının, Almanya’ya yılda bir milyon tona kadar hidrojen taşıyan ana hidrojen koridoruna dönüşeceği tahmin edilmektedir^[97].

4.2.8 Mısır

Hidrojen üretimi için dünyanın önde gelen üslerinden biri olarak statüsünü sağlamlaştırmaya çalışan Mısır, hazırladığı yeni hidrojen yasasında, yeşil hidrojen projeleri

için yüzde 55’e kadar vergi indirimini sağlamaya hazırlanmaktadır. Hükümet tarafından 17 Mayıs’ta onaylanan yasa tasarısına göre, yeşil hidrojen projeleri için yüzde 55’e kadar vergi indirimini sağlanmaktadır. Mısır, içeriğine göre yüzde 33 ile yüzde 55 arası vergi indirimini öngören yasa ile dünyada hidrojen üretiminde lider ülkelerden biri olmayı hedeflemektedir. Projelerin alacağı vergi indirimi yüzdesinin nasıl belirleneceği henüz açıklanmazken, vergi indirimine hak kazanabilmek için, fonun en az yüzde 70’inin dış yatırımcılardan alınması ve üretimde kullanılan malzemelerin en az yüzde 20’sinin yerli olarak üretilmiş olması gerekmektedir^[98].

Rüzgâr ve güneş zengini Mısır enerjideki hamleleriyle jeopolitik konumunu güçlendirmeye ve kendisini yeşil hidrojen gelişimi ve amonyak ihracatı için önemli bir merkez olarak konumlandırmaya çalışmaktadır. Mısır’da enerjiye yönelik yabancı yatırımcı ilgisi de hızla artmaktadır. Hindistan’ın en büyük yenilenebilir enerji şirketlerinden ReNew Power Mısır’daki hidrojen projelerine 7 milyar dolardan fazla kaynak sağlamayı planlamaktadır. Mısır, rüzgâr ve fotovoltaik (güneş) için Nil Nehri boyunca, Singapur’un yüzölçümünden büyük, dev araziler tahsis ederek buradan elde edilecek yeşil elektriği özel hatlarla Ain Sokhna limanındaki hidrojen projesine aktaracaktır. Norveçli yenilenebilir enerji şirketi Scatec Mısır Varlık Fonu, Mısırlı inşaat şirketi Orascom ve Birleşik Arap Emirlikleri merkezli Fertigllobe ile 100 MW kapasiteli yeşil hidrojen projesi geliştirmektedir. Mısır, bir yandan AB ülkeleri ve Japonya’nın yanı sıra Çin ve Rusya ile iyi ilişkilerini sürdürme niyetindeyken, öte yandan ülkede mevcut olmayan şirketlerle de anlaşmalar yapabilmek için çaba göstermektedir. Bu çerçevede ülkeye Hindistan, Avustralya, Suudi Arabistan ve Birleşik Arap Emirlikleri’nden yatırımlar gelmesi beklenmektedir. Avrupa’ya olan bağımlılığı azaltmak için dünyaya yeni bağlar kurmaya uğraşan Mısır, diğer yandan Afrika kıtasının kalanı için bir kalkınma modeli sağlayarak oynadığı jeopolitik rolü belirginleştirmeye çalışmaktadır. AB ise, amonyak olarak ihraç edilen hidrojen için Mısır’ın en muhtemel ihracat pazarı konumundadır^[99]. 2022’nin Kasım ayında 100 MW kapasiteli yeşil hidrojen projesine yönelik AB ile Mısır arasında ortaklık anlaşması imzalanmıştır^[100].

4.2.9 Fas

Fas, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunarak ve ortak ülkelerde karbonsuzlaştırmayı destekleyerek enerji geçişini pekiştirmek için yeşil moleküller, özellikle hidrojen, amonyak ve metanol etrafında ekonomik ve endüstriyel bir sektör yaratmayı amaçlamaktadır^[101]. Yenilenebilir enerji kaynaklarında olağanüstü bir potansiyele sahip olan Fas’ın amacı ekonomisini teşvik etmek ve enerji güvenliğini güçlendirmek için yeşil hidrojen üretimini kullanmaktır.

Fas Enerji, Madenler ve Çevre Bakanlığı, 2019’da oluşturulan Ulusal Hidrojen Komisyonu kapsamında yeşil hidrojen yol haritasını 2021’de belirlemiştir. Ülke, 2030 yılına kadar 30 TWh ve 2050 yılına kadar 307 TWh’ye kadar bir yeşil hidrojen talebi beklemektedir.

2030 yılına kadar ülke, 4 TWh yerel bir hidrojen pazarı ve birlikte ele alındığında 6 GW yeni yenilenebilir kapasitenin inşasını gerektirecek ve 15.000'den fazla doğrudan ve dolaylı işin yaratılmasını destekleyecek 10 TWh'lik bir ihracat pazarı öngörmektedir. Fas'ın 2030 yılına kadar küresel hidrojen talebinin yüzde 4'ünü sağlayabileceği düşünülmektedir. Ülkenin yol haritasındaki hesaplamalara dayanarak, Fas'taki yeşil hidrojen endüstrisinin ve türevlerinin 2030'da 13,9 TWh ile 30,1 TWh arasında ve 2050'de de 153,9 TWh ile 307,1 TWh arasında bir talebi karşılayabileceği tahmin edilmektedir^[101]. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) 2022 yılında yaptığı açıklamada, Fas'ın 2050 yılında kabaca kg başına 0,7 dolar ila 1,4 dolar arasında değişen bir yeşil hidrojen üretim maliyetine sahip olmasının beklendiğini bildirmiştir. Böylece Fas, Avustralya, Meksika, Hindistan ve ABD gibi küresel enerji sektöründeki köklü oyuncuların önüne geçerek Çin ve Şili'nin ardından üçüncü en düşük hidrojen üretim maliyetine sahip olacaktır. 2050 yılına kadar Fas'ın enerji ihtiyacının yüzde 80'ini yenilenebilir enerjilerden üretmesi ve 2050'de net sıfıra ulaşması beklenmektedir^[102].

Fas'ın Güneş Enerjisi ve Yeni Enerjiler Araştırma Enstitüsü (IRESEN) Eylül 2022'de, ilk yeşil hidrojen üretim sisteminin kurulumunu tamamladığını açıklamıştır^[102]. Pilot proje, 20 kW kapasiteli bir elektrolizör ve fotovoltaik güneş panellerinden oluşmaktadır. Yeşil amonyak, yeşil metanol ve yeşil yakıtlar üretmek için kullanılacak yeşil hidrojen üretiminin yanı sıra pilot proje, IRESEN, Muhammed VI Politeknik Üniversitesi (UM6P), Ulusal Hidrojen Komisyonu ve Yeşil Hidrojen Fas Kümesi'nden öğrencileri, araştırmacıları, mühendisleri, teknisyenleri ve yöneticileri eğitecek ve geliştirecektir.

Belçika şirketi John Cockerill, Fas'ta gelişmekte olan yeşil hidrojen endüstrisine yatırım yapmak amacıyla bir Fas şirketi ile ortak girişim kurulduğunu açıklamıştır. İki ortak burada bir elektrolizör üretim tesisi kurmayı planlamaktadır^[103]. Yakın zamanda Çinli enerji mühendisliği tedarik ve inşaat müteahhidi Energy China International Construction Group'un Fas'ın güneyinde bir yeşil hidrojen projesi inşa edeceği duyurulmuştur^[104]. Proje, 2 GW'lık bir fotovoltaik güneş santrali ve 4 GW'lık bir rüzgâr enerjisi projesi ile yaklaşık 320.000 ton yeşil hidrojen üretilen, gelecekte yılda 1,4 milyon tonluk üretim yapılacak bir yeşil amonyak tesisini içermektedir.

4.2.10 Güney Afrika

Güney Afrika Hükümeti tarafından 2022'nin Şubat ayında Güney Afrika Hidrojen Derneği Yol Haritası (HSRM) yayınlanmıştır. HSRM, yeşil hidrojen ve amonyak için bir ihracat pazarının oluşturulması, hidrojen ürünleri için üretimde bir Mükemmeliyet Merkezi'nin uygulanması, yerli hidrojen tedarik zincirlerinin geliştirilmesi, 2030 yılına kadar 500 kiloton yeşil hidrojen üretimi ve 2040 yılına kadar hidrojene dayalı 15 GW enerji üretimi dahil olmak üzere bir dizi hedef içermektedir^[105]. Güney Afrika, önümüzdeki 10 yıl içinde yaklaşık 17,8 milyar dolar değerinde yeşil hidrojen boru hattını destekleme planını da açıklamıştır^[106].

Güney Afrika, 2050 yılına kadar yüzde 4'lük bir küresel pazar payı yakalayarak yeşil hidrojenin büyük bir üreticisi ve ihracatçısı olmak istemektedir. Güney Afrika'nın hidrojen stratejisi, ekonomiyi karbondan arındırma arzusu, ekonomik büyüme yaratma çabası, kömürden adil bir geçiş yapma amacı ve kritik maden kaynaklarını tam olarak kullanmanın yollarını keşfetme gibi birkaç önceliği yansıtmaktadır. Güney Afrika, 2030 yılına kadar Northern Cap'te 10 GW elektroliz kapasitesi kurmayı ve 2030 yılına kadar yılda yaklaşık 500 kiloton hidrojen üretmeyi hedefliyor. Bu büyümenin 2030 yılına kadar yılda 20.000 ve 2040 yılına kadar da 30.000 kişiye iş yaratacağı tahmin edilmektedir^[107].

5. YEŞİL HİDROJENDE LİDER ŞİRKETLER

Büyüyen bir pazar olan yeşil hidrojen sektöründe küresel düzeyde öne çıkan pek çok şirket bulunmaktadır. Hidrojen ekonomisinin boyutları elektrolizörlerden hidrojen yakıt hücreleri üretimine, amonyaktan gri hidrojen üretimine dek çok geniş bir yelpazeye yayılmaktadır. Ayrıca hidrojen ekonomisi alanında çalışan şirketlerin pek çoğu aynı zamanda geleneksel petrokimya şirketleridir. Aşağıda farklı kullanım alanlarına yönelik olarak hidrojen ekonomisinde öne çıkan bazı küresel şirketler ile bu şirketlerin 22 Kasım 2022 itibarıyla piyasa değerleri ve faaliyet bilgileri yer almaktadır

1. Reliance Industries

Merkezi Mumbai'de bulunan Reliance Industries Ltd., enerji, petrokimya, doğalgaz, perakende, telekomünikasyon, kitle iletişim araçları ve tekstil gibi çeşitli işletmelere sahip çokuluslu bir Hint şirkettir. Hindistan'ın en kârlı şirketlerinden biri olan Reliance Industries, 2022 yılı itibarıyla dünyanın en büyük şirketlerinin yer aldığı Fortune Global 500 listesinde 100'üncü sırada yer almaktadır. 206,1 milyar dolar piyasa değerine sahip Reliance Industries, 102 ülkede 236.000'den fazla çalışanıyla Hindistan'ın en büyük işverendir. Dünyanın en büyük gri hidrojen üreticilerinden biri olan şirket Haziran 2022 itibarıyla, 2025 yılına kadar tamamlanması beklenen yeşil hidrojene geçiş sürecine başlamıştır^[108]. Şirket, Hindistan'da yeşil hidrojen için en kapsamlı ekosistemlerden birini inşa etmek için 10 milyar dolarlık bir ilk yatırım yaptığını açıklamıştır. Ayrıca, Reliance Industries şirketin yeşil hidrojen ile ilgili üretim hedeflerine ulaşmasına yardımcı olacak basınçlı alkali elektrolizör teknolojisinin maliyet azaltmasını ve ticarileştirilmesini kolaylaştırmak için Stiesdal ile ortaklık kurmuştur^[109].

2. Shell

Londra merkezli, çokuluslu bir petrol ve gaz şirketi olan Shell, gelir ve kârları bakımından dünyanın en büyük şirketlerinden biridir. Petrol ve gaz arama, üretim, rafineri, nakliye, dağıtım ve pazarlama ile enerji üretimi ve yeşil hidrojen üretiminde uzmanlaşmıştır. 166,1 milyar dolar piyasa değeriyle, 99 ülkede toplam 82.000 çalışanı

bulunan şirket, 1988-2015 yılları arasında dokuzuncu en büyük sera gazı salımına yol açan şirkettir. Bununla birlikte, 2015 yılından bu yana, Shell yavaş yavaş temiz enerjiye geçişi başlatarak güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, yeşil hidrojen üretimi ve ormancılığa ciddi yatırımlar yapmıştır.

2050 yılına kadar net sıfır emisyonlu bir enerji işletmesi olmayı hedefleyen Shell, büyük ölçekli yeşil hidrojen projelerinde yer almaktadır. 2015 yılında şirket, Almanya genelinde yeşil hidrojen yakıt pompaları kurmak için bir proje başlatmış ve projeyi 400'den fazla lokasyona yayma planını 2023 yılında tamamlamak istemektedir. Hidrojen Konseyinin üyesi olan şirket, Hollanda'da Avrupa'nın en büyük yeşil hidrojen tesisini kurma planını açıklamıştır. Bloomberg'e göre, proje Avrupa'nın şu anki en büyük tesisinden 10 kat daha büyük olacak ve şirketin Rotterdam rafinerisine doğrudan tedarik sağlayacaktır. Fabrikadaki operasyonların 2025 yılına kadar başlayacağı belirtilmektedir^[109].

3. Linde

Almanya'da kurulan ve merkezi İngiltere'de bulunan Linde, 165,3 milyar dolar piyasa değerine sahip, küresel bir çokuluslu kimya şirkettir ve toplam pazar payı ve geliri bakımından dünyanın en büyük endüstriyel gaz şirkettir. Şirket; oksijen, azot ve argon gibi atmosferik gazların ve helyum ve yeşil hidrojen gibi proses gazlarının üretimi ve dağıtımında uzmanlaşmıştır. Linde; çelik yapımı, gıda, içecek karbonasyonu, malzeme taşıma ekipmanları ve sağlık hizmetleri gibi çeşitli endüstrilerde çeşitlendirilmiş küresel bir müşteri tabanına sahiptir. 2022'nin üçüncü çeyreğinde şirket toplam 8,8 milyar dolar gelir elde etmiştir.

Hidrojen Konseyi üyesi olan Linde, hidrojen araçlarının 2035 yılına kadar elektrikli araçlarla rekabet edebileceğini öngörmüş ve suyu hidrojene dönüştüren rüzgâr enerjili santrallere yatırım yapmıştır. Kasım 2022 itibarıyla şirket Yunanistan, Fransa ve diğer Avrupa ülkelerinde büyük ölçekte yeşil hidrojen üretimine başlamıştır. Şirket yeşil hidrojen üretimini, yenilenebilir rüzgâr ve güneş enerjisi kullanarak elektroliz yoluyla gerçekleştirirken, aynı zamanda, doğalgazın yeşil hidrojene dönüşümünü katalize eden buhar reformasyon üretim yöntemlerine yatırım yapma planlarını da açıklamıştır. Şirketin 35 MW'lık bir Proton Değişim Membranı elektrolizörü aracılığıyla ABD'deki yeşil hidrojen üretimini artırma planı devam etmektedir. Bu tesisin 2025 yılına kadar çalışması beklenmektedir^[109].

100 yıldan uzun süredir hidrojen üreten ve yeni hidrojen üretim teknolojilerinde öncü olan Linde'nin faaliyetleri, üretim ve işlemeden dağıtım ve depolamaya ve önemli endüstriyel ve tüketici uygulamalarına kadar hidrojen değer zincirinin her aşamasını kapsamaktadır. Şirketin dünya çapında 500'den fazla hidrojen üretim tesisi bulunmaktadır. ITM Linde Elektroliz ortak girişimi sayesinde Linde, Proton Değişim Membranı (PEM) elektrolizör teknolojileri kullanılarak üretilen yeşil hidrojenin dünyanın önde gelen tedarikçilerinden biri haline gelmiştir^[110].

4. Air Liquide

140,5 milyar dolar piyasa değeriyle Air Liquide, yeşil hidrojenin üretimini, geliştirilmesini ve uygulanmasını sağlayacak teknolojileri ve ticari girişimleri tedarik ederek ve satın alarak, 1998'den itibaren enerji geçiş çabalarının ön saflarında yer almaktadır. Hidrojen Konseyinin üyesi olan Air Liquide, Temmuz 2022'de Şangay Kimya Endüstrisi Parkı'nda karbon yakalama teknolojisine sahip iki yeni yeşil hidrojen üretim ünitesi inşa etme planlarını açıklamıştır. Büyüklüğü 200 milyon avroyu aşan bu proje önemli çevresel faydalar sağlayacak ve aynı zamanda Air Liquide'e Avrupa'daki hidrojen ve doğal gaz değer zincirleri üzerinde ek uzmanlık ve kontrol kazandıracaktır^[109].

5. Sinopec

Pekin'in Chaoyang bölgesinde bulunan Sinopec, dünyanın en büyük petrol rafineri, gaz ve petrokimya holdinglerinden biri olan Sinopec Group tarafından yönetilen Çin devletine ait bir petrol ve gaz kuruluşudur. Yaklaşık 68 milyar dolar piyasa değeriyle Sinopec petrol ve gaz arama, rafine etme ve pazarlama konusunda uzmanlaşmıştır. Petrokimya ve diğer kimyasal ürünlerin üretimi ve satışı ile etanol, biyodizel, yeşil jet yakıtı ve yeşil hidrojen üretimi yapmaktadır. 2022'nin üçüncü çeyreğinde şirket, 117,3 milyar dolarlık devasa bir gelir elde etmiştir. Ülke çapında 385.600'den fazla çalışanı olan Sinopec, Çin'in karbonsuzlaştırma çabalarına öncülük eden dünyanın en iyi yeşil hidrojen şirketlerinden biridir.

Kasım 2021'de şirket, ağırlıklı olarak petrol ve gaz işinden yeşil hidrojene yönelmiş ve Kuqa şehrinde bir yeşil hidrojen tesisi inşa etmiştir. Tesis, ticari ve endüstriyel müşterilere yılda 20.000 tondan fazla yeşil hidrojen sağlamaktadır. Tesisin 2023 yılına kadar tam kapasiteyle çalışması planlanmaktadır. Sinopec, Çin'in kuzeybatı eyaletinde, 630 hektardan fazla bir alanı kaplayan güneş panelleri ile başka bir yeşil hidrojen tesisi kurma planlarını da tamamlamıştır. Şirket, projenin yeşil hidrojen üretimi ve kullanımının tüm sürecini kapsayacağını açıklamıştır^[109].

6. Air Products and Chemicals

ABD Pennsylvania merkezli Air Products and Chemicals, endüstriyel kullanım için gaz ve kimyasalların satışında uzmanlaşmış uluslararası bir Amerikan şirkettir. Air Products and Chemicals, yeşil hidrojen de dahil olmak üzere atmosferik endüstriyel gazlarla çok çeşitli müşterilere hizmet vermektedir. Uzay Mekiği Dış Tank programı için sıvı yeşil hidrojen sağlamıştır. 61,6 milyar dolar piyasa değerine sahip olan şirket 2027 yılına kadar New York'ta bir yeşil hidrojen üretim tesisi inşa etmek için 500 milyon dolardan fazla yatırım yapacaktır. Ayrıca, Air Products and Chemicals, Birleşik Krallık'taki ilk büyük ölçekli, yeşil hidrojen üretim tesisini inşa etmek ve işletmek için Associated British Ports (ABP) ile ortaklık kurduğunu duyurmuştur^[111]. Anlaşma, her yıl 580.000 ton sera gazı emisyonu da dahil olmak üzere İngiltere'nin mücadele ettiği iklim kaynaklı zorlukların bazılarını çözmeyi hedeflemektedir^[112].

Oksijen, azot, argon ve helyum üretimine ek olarak, şirket 100'den fazla hidrojen tesisi işletmektedir ve dünya çapında 250'den fazla hidrojen yakıt projesinde yer almıştır. 2025 yılına kadar küresel olarak otobüslere ve kamyonlara yeşil hidrojen tedarik edebilmek için 7 milyar dolar yatırım yapan Air Products and Chemicals, Suudi Arabistan'daki ACWA Power ve NEOM ile ortak girişim projesine sahiptir, NEOM Yeşil Hidrojen Kompleksi, elektroliz yoluyla günde 650 ton hidrojen üretmek için güneş, rüzgâr ve depolamadan 4 GW yenilenebilir enerji ile güçlendirilecektir^[110].

7. Adani Green Energy

Merkezi Ahmedabad'da bulunan Adani Green Energy, 38,4 milyar dolar piyasa değerine sahip bir Hint yenilenebilir enerji şirkettir. Şirket, dünyanın en büyük fotovoltaik tesislerinden biri olan Kamuthi Güneş Enerjisi Projesi'nin sahibi ve işletmecisidir. Şirket ayrıca, yenilenebilir hidrokarbon hammaddelerinin emisyonuz, termal reformu yoluyla yeşil hidrojen üretmek için yenilenebilir biyogaz kullanmaktadır.

Adani Green Energy, ekonomik büyümeyi ve net sıfıra geçişi hızlandırmak için uygun fiyatlı, temiz ve güvenilir yeşil hidrojenin sağlanmasında hayati bir rol oynamaktadır. Haziran 2022'de Adani Green Energy, büyük bir yeşil hidrojen projesine 5 milyar dolardan fazla yatırım yapmak için TotalEnergies SE ile bir anlaşma imzalamıştır. Şirket, 4 GW'lık bir güneş ve rüzgâr çiftliği tarafından desteklenen 2 GW'lık hidrojen üreten bir elektrolizör çiftliği kuracaktır. Girişim, 30 GW'lık temiz enerji kapasitesiyle desteklenen 2030 yılına kadar yılda 1 milyon ton yeşil hidrojen üretimini hedeflemektedir^[111].

8. Plug Power

Merkezi New York'ta bulunan Plug Power, hidrojen yakıt hücresi sistemleri geliştiren ve üreten bir Amerikan şirkettir. Bu sistemler, ekipman ve elektrikli araçlardaki geleneksel pillerin yerini alacak şekilde tasarlanmıştır. Şirket ayrıca hidrojen yakıt hücresi çözümleri, hidrojen ve yeşil hidrojen üretimi ile depolanmasında uzmandır. 1977 yılında kurulan şirket 8,9 milyar dolar piyasa değerine sahiptir ve ABD'de 10'dan fazla eyalette 2.200'den fazla çalışanı bulunmaktadır. Plug Power yeşil hidrojen üretmek için şebeke veya yenilenebilir enerji kaynaklarıyla elektroliz yöntemini kullanmaktadır. Plug Power, Acciona ile ortak olarak, 2023 yılında İspanya'da iki yeşil hidrojen tesisi inşa etmeye başlamayı planlamaktadır. Bu tesislerin, şirketin 2030 yılına kadar İspanya ve Portekiz'deki yeşil hidrojen pazar payının yüzde 20'sini elde etmesine yardımcı olması beklenmektedir. Plug Power'ın 2025 yılına kadar 11.000 tondan fazla yeşil hidrojen üretmesi beklenmektedir^[111].

9. Bloom Energy

Kaliforniya merkezli, 4 milyar dolar piyasa değerine sahip olan Bloom Energy, katı oksit yakıt hücreleri üretilen pazarlayan ve yerinde elektrik enerjisi üretebilen bir Amerikan temiz enerji şirkettir. 2001 yılında kurulan şirketin yakıt hücreleri, ABD'de belirli teşvik programları

tarafından sübvansede edilmektedir. 2022 itibariyle, Bloom Energy 900 MW'tan fazla yakıt hücresi kurmuştur. Eylül 2022'de Bloom Energy, Xcel Energy'nin nükleer santrale emisyonuz yeşil hidrojen üretmek için 245 kW'lık elektrolizörler kuracağını açıklamıştır^[111].

10. FuelCell Energy

Connecticut'ta bulunan FuelCell Energy, Doğrudan Yakıt Hücresi enerji santrallerinin tasarımı, üretimi ve operasyonları konusunda yetkin, 1,40 milyar dolar piyasa değerine sahip, halka açık bir yakıt hücresi üreticisidir. FuelCell Energy dünya çapında 50'den fazla ülkede faaliyet göstermektedir. 21 enerji santralinden oluşan ve Güney Kore'de bulunan dünyanın en geniş yakıt hücresi parkını işletmektedir. Şirket ayrıca Connecticut, Bridgeport'ta Kuzey Amerika'daki en büyük yakıt hücresi parkını işletmektedir. FuelCell Energy, öncelikle ticari ve endüstriyel müşterilere hitap etmekte ve doğalgaz veya biyogazdan yeşil hidrojen üretmek için trijenerasyon teknolojisini kullanmaktadır. Proses, ihmal edilebilir bir karbon ayak izine sahiptir^[111].

6. SONUÇ

Uluslararası kurumlar tarafından yayınlanan yeşil hidrojen proje ve yatırımlarının adeta üssel bir sıçrama vadeden 2030 ve 2050 projeksiyonları, küresel yatırımcıların bu sektörü adeta yeni bir cazibe merkezi olarak görmelerine yol açmaktadır. Sektörün önde gelen şirketleri, ABD başta olmak üzere dünyanın önde gelen bazı ülkelerinin açıkladığı teşvik ve hibe programlarının da desteğiyle büyük boyutlu yatırımlarını peş peşe devreye alırken, bu durum küresel iklim değişikliğiyle mücadele açısından da umut verici görünmektedir. Zira yeşil hidrojen çelik, çimento, ağır sanayi ve havacılık gibi karbondan arındırılması zor sektörlerde emisyon hedeflerinin tutturulabilmesinde kilit önem taşımaktadır.

Küresel enerji denkleminde Rusya ve körfez ülkeleri gibi belli başlı doğal kaynak zengini ülkelere olan bağımlılıkları ortadan kaldırma potansiyeline sahip görünen yeşil hidrojen, dünyanın jeopolitik dengeleri açısından da gelecek 30 yılda ezberbozan gelişmeler yaşanabileceğinin işaretlerini vermektedir. AB yeşil hidrojenle ilgili yasal ve idari düzenlemelerin büyük bölümünü tamamlamış, hidrojen ekonomisinin nabzını tutacak bir hidrojen bankası ve hidrojen fiyat endeksini oluşturmuştur. Ayıca dünya üzerinde 35'ten fazla ülke bir hidrojen stratejisi belgesi hazırlamış ve bu doğrultuda gerçekleştirdiği iddialı hamlelerle bu yeni ortama hazırlanmaktadır. Yeşil hidrojenin temiz enerji geçişinde, küresel ekonomide ve jeopolitik düzlemde 2050'lere giden yolda temel dönüştürücü güçlerden biri olacağı düşünülmektedir.

Bu kapsamda gelmekte olan treni kaçırmak üzere olan ülkemizin, uluslararası düzenlemeler dikkate alınarak yeşil enerji konusunda gereken tedbirleri almasının ve girişimleri başlatmasının son derece yararlı olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Garden, Leah; (2023), "Making sense of the hydrogen rainbow", *World Economic Forum*, (6 Mart 2023), <https://www.weforum.org/agenda/2023/03/making-sense-of-the-hydrogen-rainbow/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [2] *Hydrogen Council*, (2023), "Hydrogen Insights 2023", (Mayıs 2023), <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2023/05/Hydrogen-Insights-2023.pdf>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [3] *Hydrogen Council*, (2023), "Hydrogen Insights: Global project funnel gains momentum across value chain and geographies", (11 Mayıs 2023), <https://hydrogencouncil.com/en/hydrogen-insights-global-project-funnel-gains-momentum-across-value-chain-and-geographies/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [4] PR Newswire, (2023), "Global Hydrogen Economy Report 2023: Growing Interest in Hydrogen Fuel Cell Vehicles Presents Opportunities", (19 Nisan 2023), <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-hydrogen-economy-report-2023-growing-interest-in-hydrogen-fuel-cell-vehicles-presents-opportunities-301801667.html>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [5] RESEARCHANDMARKETS, (2023), "Global Hydrogen Economy: Merchant Hydrogen and Hydrogen Purification Technologies", (Mart 2023), <https://bit.ly/3Pkiwnf>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [6] *STM ThinkTech*, (2023), "ENERJİ KRİZİNİN ÇÖZÜMÜNDE YEŞİL HİDROJEN DEVRİMİ I: Sürdürülebilir Gelecekte Yeşil Hidrojenin Yeri", (14 Nisan 2023), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/enerji-krizinin-cozumunde-yesil-hidrojen-devrimi-i-surdurulebilir-gelecekte-yesil-hidrojenin-yeri>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [7] Schmundt, Wilhelm; (2023), "Building the Green Hydrogen Economy", *Boston Consulting Group*, (Mart 2023), <https://web-assets.bcg.com/bc/82/a99c71144a60aa435736f574cfe/bcg-infrastructure-strategy-2023-building-the-green-hydrogen-economy-mar-2023-r.pdf>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [8] Jane, Katy; (2023), "International investment in electrolyzers supports a green hydrogen economy.", *Dolphin N2*, (19 Nisan 2023), <https://dolphin-n2.com/international-investment-in-electrolyzers-supports-a-green-hydrogen-economy/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [9] Dokso, Anela; (2023), "Green hydrogen investment might total \$12 trillion by 2050", *energy news*, (5 Nisan 2023), <https://energynews.biz/green-hydrogen-investment-might-total-12-trillion-by-2050/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [10] *ETN*, (2023), "Green hydrogen investment might total \$12 trillion by 2050", (Ocak Mart 2023), <https://etn.news/buzz/outlook-2023-green-hydrogen-global-report-etn-march>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [11] Pfeifer, Sylvia; (2021), "Hydrogen: can the lightest gas turn heavy industry green?", *Financial Times*, (19 Mart 2021), <https://www.ft.com/content/7a83309e-1dbd-4651-a6fc-52f9be72def7>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [12] *IRENA*, (2022), "Green hydrogen for industry: A guide to policy making", https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA_Green_Hydrogen_Industry_2022_.pdf?rev=720f138dbfc44e30a2224b476b6dfb77. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [13] *Heinrich Böll Stiftung Derneği Türkiye Temsilciliği*, (2021), "Hidrojen hakkında bilinmesi gereken on şey", (18 Ekim 2021), <https://tr.boell.org/tr/2021/11/17/hidrojen-hakkinda-bilinmesi-gereken-sey>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [14] Müller, Gerd; (2022), "Green Hydrogen: The energy opportunity for decarbonization and developing countries", *Industrial Analytics Platform*, (Kasım 2022), <https://iap.unido.org/articles/green-hydrogen-energy-opportunity-decarbonization-and-developing-countries#fn-2077-0>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [15] *Acciona*, "GREEN HYDROGEN: THE ENERGY OF THE FUTURE ESSENTIAL FOR DECARBONISATION", https://www.acciona.com/green-hydrogen/?_adin=11551547647. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [16] Boussidan, Noam; (2023), "Everything you need to know about hydrogen in the clean energy transition", *World Economic Forum*, (12 Ocak 2023), <https://www.weforum.org/agenda/2023/01/hydrogen-clean-energy-transition-2023/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [17] *European Parliament*, (2021), "Moving towards Zero-Emission Steel", (Aralık 2021), [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/695484/IPOL_STU\(2021\)695484_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/695484/IPOL_STU(2021)695484_EN.pdf). (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [18] *Dünya*, (2022), "Dünya devleri hidrojen yakıtlı yeşil çelik üretimi için anlaştı", (21 Aralık 2022), <https://www.dunya.com/surdurulebilir-dunya/dunya-devleri-hidrojen-yakitli-yesil-celik-uretimi-icin-anlasti-haberi-678386>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [19] *International Energy Agency*, (2019), "The Future of Hydrogen", (Haziran 2019), <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [20] *STM ThinkTech*, (2022), "Sera Gazı Salımını Azaltmada Yeni Teknoloji ve İnovasyonlar", (6 Nisan 2022), <https://thinktech.stm.com.tr/tr/sera-gazi-salimini-azaltmada-yeni-teknoloji-ve-inovasyonlar>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [21] Chugh, Abhinav; (2021), "What is green hydrogen and why do we need it? An expert explains", *World Economic Forum*, (21 Aralık 2021), <https://www.weforum.org/agenda/2021/12/what-is-green-hydrogen-expert-explains-benefits/>
- [22] Boussidan, Noam; (2023), "Everything you need to know about hydrogen in the clean energy transition", *World Economic Forum*, (12 Ocak 2023), bit.ly/3NwaA0A. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [23] PATEL, PRACHI; (2023), "Skies Begin to Clear for Hydrogen-Powered Flight", *IEEE Spectrum*, (17 Şubat 2023), <https://spectrum.ieee.org/hydrogen-powered-planes-fuel-cells>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [24] Hyde, David; (2022), "Could hydrogen-fuelled flights be a reality by 2035?", *World Economic Forum*, (25 Temmuz 2022), <https://www.weforum.org/agenda/2022/07/how-to-achieve-net-zero-in-aviation>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [25] *Hospitality*, (2020), "Airbus presents three hydrogen-powered aircraft concepts", (17 Mart 2020), <https://hospitality-on.com/en/transport/airbus-presents-three-hydrogen-powered-aircraft-concepts>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [26] *businesswire*, (2023), "Universal Hydrogen Successfully Completes First Flight of Hydrogen Regional Airliner", (2 Mart 2023), <https://www.businesswire.com/news/home/20230302005768/en/Universal-Hydrogen-Successfully-Completes-First-Flight-of-Hydrogen-Regional-Airliner>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [27] Enuh, Blaise Manga; (2023), "The Use of Hydrogen in the Aerospace Sector", *AZO Materials*, (24 Ocak 2023), <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=22366>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [28] Soboń, Andrzej; (2021), "Prospects for the Use of Hydrogen in the Armed Forces", *ResearchGate*, (Ekim 2021), https://www.researchgate.net/publication/355850051_Prospects_for_the_Use_of_Hydrogen_in_the_Armed_Forces. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [29] Mills, Walker; Limpacher, Erik; (2021), "THE PROMISE OF HYDROGEN: AN ALTERNATIVE FUEL AT THE INTERSECTION

- OF CLIMATE POLICY AND LETHALITY”, *Modern War Institute*, (27 Aralık 2021), <https://mwi.usma.edu/the-promise-of-hydrogen-an-alternative-fuel-at-the-intersection-of-climate-policy-and-lethality/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [30] *Marketsandmarkets*, “HYDROGEN APPLICATION IN AEROSPACE DEFENCE INDUSTRY”, <https://www.marketsandmarkets.com/practice/hydrogen/aerospace-defence-industry>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [31] Agrawal, Vaibhav; (2023), “Green Hydrogen Energy: The Next Big Step For Indian Armed Forces”, *Indian Aerospace & Defence Bulletin*, (24 Mart 2023), <https://www.iadb.in/2023/03/24/green-hydrogen-energy-the-next-big-step-for-indian-armed-forces/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [32] *Hydrogen Central*, (2022), “India – Powering The Navy with Green Hydrogen”, (7 Şubat 2022), <https://hydrogen-central.com/india-powering-navy-green-hydrogen/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [33] Newton, Emily; (2023), “How Does the U.S. Military Rely on Renewable Energy?”, *Renewable Energy Magazine*, (22 Şubat 2023), <https://www.renewableenergymagazine.com/emily-newton/how-does-the-u-s-military-rely-20230222>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [34] Sharma, Ateet; (2022), “From military hardware to green hydrogen — India and Egypt rekindle old romance”, *India Narrative*, (20 Eylül 2022), <https://www.indianarrative.com/world-news/from-military-hardware-to-green-hydrogen-india-and-egypt-rekindle-old-romance-51562.html>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [35] H Laskar, Rezaul; (2023), “Prez Sisi’s visit: Defence, green energy in focus in India-Egypt cooperation”, *Hindustan Times*, (4 Ocak 2023), <https://www.hindustantimes.com/india-news/prez-sisi-s-visit-defence-green-energy-in-focus-in-india-egypt-cooperation-101672841874791.html>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [36] *Gov.uk*, (2022), “PM: UK-India partnership ‘brings security and prosperity for our people’”, (22 Nisan 2022), <https://www.gov.uk/government/news/pm-uk-india-partnership-brings-security-and-prosperity-for-our-people--2>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [37] *Press Information Bureau Government of India*, (2023), “NTPC Renewable Energy Ltd. signs MoU with Indian Army for the implementation of Green Hydrogen Projects in Army Establishments”, (21 Mart 2023), <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1909088>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [38] *NDTV*, (2023), “Army Plans Green Hydrogen-Based Power Plants Along Border With China”, (21 Mart 2023), <https://www.ndtv.com/india-news/army-plans-to-instal-green-hydrogen-based-power-plants-along-border-with-china-3880917>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [39] *T.C. Ticaret Bakanlığı*, (2023), “ABD-AB Arasında Yeşil Uzlaşmanın Temeli Hidrojen Olarak Öne Çıkıyor”, (13 Şubat 2023), <https://ticaret.gov.tr/blog/seyktor-haberleri/abd-ab-arasinda-yesil-uzlasmanin-temeli-hidrojen-olarak-one-cikiyor>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [40] Christie, Rebecca; (2023), “Hydrogen is elemental to U.S.-EU green compromise”, *Reuters*, (10 Şubat 2023), <https://www.reuters.com/breakingviews/hydrogen-is-elemental-us-eu-green-compromise-2023-02-10/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [41] Koch, Cathy; (2023), “Tax Incentives May Change the Game for Green Hydrogen Investment”, *Bloombergtax*, (5 Nisan 2023), <https://news.bloombergtax.com/tax-insights-and-commentary/tax-incentives-may-change-the-game-for-green-hydrogen-investment>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [42] Natajaran, Nikki; (2023), “Hydrogen: the next \$1trn investment opportunity?”, *ImpactInvestor*, (23 Ocak 2023), <https://impact-investor.com/hydrogen-the-next-1trn-investment-opportunity/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [43] *EUR-Lex*, (2020), “COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe”, (8 Temmuz 2020), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [44] *European Commission*, “Hydrogen”, https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen_en. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [45] Wood, Johnny; (2022), “Which countries could become the world’s hydrogen superpowers?”, *World Economic Forum*, (14 Şubat 2022), <https://www.weforum.org/agenda/2022/02/clean-hydrogen-energy-low-carbon-superpowers/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [46] Collins, Leigh; (2023), “European Commission finally publishes definition for green hydrogen, providing the certainty required for investment to begin”, *Hydrogen Insight*, (13 Şubat 2023), <https://www.hydrogeninsight.com/policy/european-commission-finally-publishes-definition-for-green-hydrogen-providing-the-certainty-required-for-investment-to-begin/2-1-1403136>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [47] *Narter & Partners*, (2023), “AB Yenilenebilir Hidrojen Standartları”, (10 Nisan 2023), <https://www.narterlaw.com/ab-yenilenebilir-hidrojen-standartlari/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [48] *European Commission*, (2023), “Commission sets out rules for renewable hydrogen”, (13 Şubat 2023), https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_594. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [49] *Milliyet*, (2023), “Avrupa Hidrojen Bankası yıl sonunda hazır”, (30 Mart 2023), <https://www.milliyet.com.tr/ekonomi/milliyet-enerji/avrupa-hidrojen-bankasi-yil-sonunda-hazir-6924491>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [50] *Enerji Günlüğü*, (2023), “AB’den ilk hidrojen teşvik ihalesi”, (19 Mayıs 2023), <https://www.enerjigunlugu.net/abden-ilk-hidrojen-tesvik-ihalesi-54175h.htm>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [51] Martin, Polly; (2023), “World’s first green hydrogen price index launched — despite there being no trade in renewable H2”, *Hydrogen Insight*, (25 Mayıs 2023), <https://www.hydrogeninsight.com/production/world-s-first-green-hydrogen-price-index-launched-despite-there-being-no-trade-in-renewable-h2/2-1-1456231>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [52] *Enerji Günlüğü*, (2022), “Avrupa’da yeşil hidrojen boru hatları kurulacak”, (12 Aralık 2022), <https://www.enerjigunlugu.net/avrupada-yesil-hidrojen-boru-hatlari-kurulacak-51852h.htm>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [53] *Enerji Günlüğü*, (2023), “Avrupa’da yeşil hidrojen boru hatları kurulacak”, (26 Ocak 2023), <https://www.enerjigunlugu.net/almanya-avrupa-yesil-hidrojen-hatti-projesine-katilacak-52612h.htm>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [54] *Enerji Günlüğü*, (2023), “Fransa, nükleer bazlı hidrojen projesinde öfkeli”, (14 Şubat 2023), <https://www.enerjigunlugu.net/fransa-nukleer-bazli-hidrojen-projesinde-ofkeli-52869h.htm>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [55] *Offshore*, (2023), “Hydrogen pipelines start to materialize in France, Germany and Spain”, (10 Nisan 2023), <https://www.offshore-mag.com/regional-reports/north-sea-europe/article/14292219/hydrogen-pipelines-start-to-materialize-in-france-germany-and-spain>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [56] Anouar, Souad; (2022), “Morocco Co-launched Africa Green Hydrogen Alliance”, (19 Mayıs 2022), <https://www.morocccoworldnews.com/2022/05/349155/morocco-co-launched-africa-green-hydrogen-alliance>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [57] Taşbaşı, Didem; (2022), “Afrika Yeşil Hidrojen İttifakı başlatıldı”, *Temiz Enerji*, (27 Mayıs 2022), <https://temizenerji.org/2022/05/27/afrika-yesil-hidrojen-ittifaki-baslatildi/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [58] *en:former*, (2022), “North Africa’s hydrogen potential”, (7 Şubat 2022), bit.ly/42PUGTu

- [59] *Airswift*, (2023), “5 US Green hydrogen projects starting in 2023”, (7 Şubat 2023), <https://www.airswift.com/blog/green-hydrogen-projects-usa>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [60] Halilovic, Adnan; (2022), “Plug Power and Olin work on US green hydrogen plant”, *energy news*, (25 Ekim 2022), <https://energy-news.biz/plug-power-and-olin-work-on-us-green-hydrogen-plant/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [61] *world nuclear news*, (2023), “US companies move forward with green hydrogen projects”, (13 Nisan 2023), <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/US-companies-move-forward-with-green-hydrogen-proj>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [62] Collins, Leigh; (2022), “World’s largest green hydrogen project unveiled in Texas, with plan to produce clean rocket fuel for Elon Musk”, *Recharge*, (3 Mart 2022), <https://www.rechargenews.com/energy-transition/world-s-largest-green-hydrogen-project-unveiled-in-texas-with-plan-to-produce-clean-rocket-fuel-for-elon-musk/2-1-1178689>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [63] Taşbaşı, Didem; (2023), “ABD, 42 milyon dolarlık temiz hidrojen finansmanı açıkladı”, *Temiz Enerji*, (25 Mayıs 2023), <https://temizenerji.org/2023/05/25/abd-42-milyon-dolarlik-temiz-hidrojen-finansmani-acikladi/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [64] Martin, Polly; (2023), “US to invest millions in solar photocatalysis – making green hydrogen from sunlight without electrolyzers or solar panels”, *Hydrogen Insight*, (23 Mayıs 2023), <https://www.hydrogeninsight.com/innovation/us-to-invest-millions-in-solar-photocatalysis-making-green-hydrogen-from-sunlight-without-electrolyzers-or-solar-panels/2-1-1454923>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [65] Blunt, Katherine; (2023), “The Most Valuable U.S. Power Company Is Making a Huge Bet on Hydrogen”, *The Wall Street Journal*, (9 Mayıs 2023), <https://www.wsj.com/articles/the-most-valuable-u-s-power-company-is-making-a-huge-bet-on-hydrogen-4c1896d>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [66] *International Energy Agency*, (2023), “Hydrogen Industry Development Plan (2021-2035)”, (13 Ocak 2023), <https://www.iea.org/policies/16977-hydrogen-industry-development-plan-2021-2035>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [67] Li, Ting; (2022), “Opening China’s Green Hydrogen New Era”, *RMI*, <https://rmi.org/insight/chinas-green-hydrogen-new-era/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [68] Collins, Leigh; Yihe, Xu; (2023), “World’s largest green hydrogen project – China’s 260MW Kuqa facility – to be commissioned at the end of May”, *Hydrogen Insight*, (26 Mayıs 2023), <https://www.hydrogeninsight.com/production/world-s-largest-green-hydrogen-project-chinas-260mw-kuqa-facility-to-be-commissioned-at-the-end-of-may/2-1-1457242>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [69] *CNN Türk*, (2023), “Çin, dünyanın en büyük yeşil hidrojen projesinin temelini atıyor”, (25 Şubat 2023), <https://www.cnntrk.com/ekonomi/cin-dunyanin-en-buyuk-yesil-hidrojen-projesinin-temelini-atiyor>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [70] Çelik, Zülal; (2023), “Yeşil hidrojen’in kalbi Kuzey Çin’de atacak”, *Critürk*, (22 Şubat 2023), <https://criturk.com/yesil-hidrojenin-kalbi-kuzey-cinde-atacak/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [71] Collins, Leigh; (2022), “Chinese oil giant to build \$2.8bn green hydrogen project in Inner Mongolia with 400km pipeline to Beijing”, *Hydrogen Insight*, (24 Kasım 2022), <https://www.hydrogeninsight.com/production/chinese-oil-giant-to-build-2-8bn-green-hydrogen-project-in-inner-mongolia-with-400km-pipeline-to-beijing/2-1-1360968>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [72] *Enerji Günlüğü*, (2023), “Çin ilk uzun mesafeli yeşil hidrojen hattını kuruyor Kaynak: Çin, başkentine yeşil hidrojen akıtacak”, (11 Nisan 2023), <https://www.enerjigunlugu.net/cin-ilk-uzun-mesafeli-yesil-hidrojen-hattini-kuruyor-53645h.htm>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [73] *India.gov*, “National Green Hydrogen Mission”, <https://www.india.gov.in/spotlight/national-green-hydrogen-mission>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [74] Stranger, Clay; Lakhina, Pranav; (2023), “India Aims to Become a Green Hydrogen Leader”, *RMI*, (4 Nisan 2023), <https://rmi.org/india-aims-to-become-a-green-hydrogen-leader/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [75] Chaganti Singh, Sarita; (2023), “India plans green hydrogen incentives of at least 10% of cost – source”, *Reuters*, (6 Nisan 2023), <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/india-plans-green-hydrogen-incentives-least-10-cost-source-2023-04-05/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [76] *T.C. Ticaret Bakanlığı*, (2023), “Hindistan Yeşil Hidrojen Endüstrisi için 2 Milyar Dolarlık Teşvik Planını Onayladı”, (10 Ocak 2023), <https://ticaret.gov.tr/blog/seyktor-haberleri/hindistan-yesil-hidrojen-endustrisi-icin-2-milyar-dolarlik-tesvik-planini-onayladi>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [77] Collins, Leigh; (2023), “India to issue first giga-scale tenders in June for green hydrogen production and electrolyser manufacturing”, *Hydrogen Insight*, (18 Mayıs 2023), <https://www.hydrogeninsight.com/policy/india-to-issue-first-giga-scale-tenders-in-june-for-green-hydrogen-production-and-electrolyser-manufacturing/2-1-1452861>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [78] Pasricha, Anjana; (2023), “India Makes \$2.3 Billion Green Hydrogen Push to Meet Climate Goals”, *VOA News*, (6 Ocak 2023), <https://www.voanews.com/a/india-makes-2-3-billion-green-hydrogen-push-to-meet-climate-goals/6906977.html>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [79] *MACQUAIRE*, (2022), “A clean start: South Korea embraces its hydrogen future”, (1 Temmuz 2022), <https://www.macquarie.com/au/en/perspectives/a-clean-start-south-korea-embraces-its-hydrogen-future.html>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [80] *International Energy Agency*, (2020), “Korea Hydrogen Economy Roadmap 2040”, (14 Eylül 2020), <https://www.iea.org/policies/6566-korea-hydrogen-economy-roadmap-2040>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [81] Collins, Leigh; (2023), “South Korea to create six ‘hydrogen cities’ that would use H2 in buildings and transport as part of daily life”, *Hydrogen Insight*, (10 Ocak 2023), <https://www.hydrogeninsight.com/policy/south-korea-to-create-six-hydrogen-cities-that-would-use-h2-in-buildings-and-transport-as-part-of-daily-life/2-1-1385821>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [82] SAKHARKAR, ASHWINI; (2022), “Korea’s largest hydrogen production complex opens in Pyeongtaek City”, *Inceptive Mind*, (23 Ağustos 2022), <https://www.inceptivemind.com/korea-largest-hydrogen-production-complex-opens-pyeongtaek-city/25938/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [83] Pupazzoni, Rachel; (2023), “Australian hydrogen in demand as South Korean manufacturers look to reach renewable energy target by 2050”, *ABC*, (14 Mayıs 2023), <https://www.abc.net.au/news/2023-05-15/south-korea-hydrogen-clean-energy-manufacturing-australia/102345294>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [84] BALMER, Etienne; (2023), “How Japan’s big plans for a ‘hydrogen society’ fell flat”, *Techxplore*, (13 Nisan 2023), <https://techxplore.com/news/2023-04-japan-big-hydrogen-society-fell.html>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [85] *Reuters*, (2023), “Japan aims to boost hydrogen supply to 12 million T by 2040”, *Reuters*, (4 Nisan 2023), <https://www.reuters.com/business/energy/japan-aims-boost-hydrogen-supply-12-mln-t-by-2040-2023-04-04/#:~:text=Japan's%20existing%20goal%20is%20to,2050%2C%20according%20to%20the%20ministry>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [86] Solanot, Gonzalo; (2023), “Japan relaunches its hydrogen strategy”, *Petrol PLAZA*, (11 Nisan 2023), <https://www.petroplaza.com/news/32495>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)

- [87] *Japan.gh2events.com*, “Connecting Green Hydrogen Japan 2023”, <https://www.japan.gh2events.com/webinar-global-hydrogen-value-chains>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [88] *COAG Energy Council*, (2019), “AUSTRALIA’S NATIONAL HYDROGEN STRATEGY”, <https://www.dcceew.gov.au/sites/default/files/documents/australias-national-hydrogen-strategy.pdf>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [89] *Australian Government*, “Australia’s National Hydrogen Strategy”, <https://www.dcceew.gov.au/energy/publications/australias-national-hydrogen-strategy>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [90] *ARENA*, (2023), “\$2 billion for scaling up green hydrogen production in Australia”, (9 Mayıs 2023), <https://arena.gov.au/news/2-billion-for-scaling-up-green-hydrogen-production-in-australia/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [91] Taşbaşı, Didem; (2023), “Avustralya, yeşil enerji ve hidrojen için 2,7 milyar dolar bütçe açıkladı”, *Temiz Enerji*, (11 Mayıs 2023), <https://temizenerji.org/2023/05/11/avustralya-yesil-enerji-ve-hidrojen-icin-27-milyar-dolar-butce-acikladi/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [92] *International Energy Agency*, (2023), “Package for the future – Hydrogen Strategy”, (25 Mayıs 2023), <https://www.iea.org/policies/11561-package-for-the-future-hydrogen-strategy>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [93] Amelang, Sören; (2020), “Germany’s National Hydrogen Strategy”, *Clean Energy Wire*, (17 Haziran 2020), <https://www.cleaneenergywire.org/factsheets/germanys-national-hydrogen-strategy>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [94] Taşbaşı, Didem; (2023), “Almanya’nın enerji şirketleri temiz hidrojen ittifakı yaptı”, *Temiz Enerji*, (27 Nisan 2023), <https://temizenerji.org/2023/04/27/almanyanin-enerji-sirketleri-temiz-hidrojen-ittifaki-yapti/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [95] Collins, Leigh; (2023), “German cabinet approves creation of a national core hydrogen pipeline network, to become law this year”, *Hydrogen Insight*, (24 Mayıs 2023), <https://www.hydrogeninsight.com/policy/german-cabinet-approves-creation-of-a-national-core-hydrogen-pipeline-network-to-become-law-this-year/2-1-1455681>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [96] Klevstrand, Agnete; (2023), “Leaked document: Germany will need to import 50-70% of its hydrogen by 2030, and that share will only grow”, *Hydrogen Insight*, (10 Mart 2023), <https://www.hydrogeninsight.com/policy/leaked-document-germany-will-need-to-import-50-70-of-its-hydrogen-by-2030-and-that-share-will-only-grow/2-1-1416856>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [97] Collins, Leigh; (2023), “Offshore hydrogen | Germany plans 1GW of wind-powered green H2 production at sea, with pipeline to shore”, *Hydrogen Insight*, (23 Ocak 2023), <https://www.hydrogeninsight.com/policy/offshore-hydrogen-germany-plans-1gw-of-wind-powered-green-h2-production-at-sea-with-pipeline-to-shore/2-1-1392107>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [98] Parkes, Rachel; (2023), “Egypt tables tax credit of up to 55% on green hydrogen projects in draft H2 law”, *Hydrogen Insight*, (18 Mayıs 2023), <https://www.hydrogeninsight.com/policy/egypt-tables-tax-credit-of-up-to-55-on-green-hydrogen-projects-in-draft-h2-law/2-1-1453085>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [99] *Haberler*, (2022), “Mısır yeşil hidrojen açılımına hazırlanıyor”, (23 Ekim 2022), <https://www.haberler.com/guncel/misir-yesil-hidrojen-acilimina-hazirlaniyor-15378681-haber/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [100] *BloombergHT*, (2022), “Mısır ve AB’den ‘yeşil hidrojen’ anlaşması”, (16 Kasım 2022), <https://www.bloomberght.com/misir-ve-ab-den-yesil-hidrojen-anlasmasi-2319381>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [101] GH2 Country Portal – Morocco, “Green hydrogen vision”, <https://gh2.org/countries/morocco>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [102] Anouar, Souad; (2022), “Morocco Establishes Its First Green Hydrogen Production System”, *Morocco World News*, (14 Eylül 2022), <https://www.morocoworldnews.com/2022/09/351348/morocco-establishes-its-first-green-hydrogen-production-system>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [103] Waterworth, David; (2023), “Green Hydrogen – Morocco Makes Big Moves”, *Clean Technica*, (14 Ocak 2023), <https://cleantechnica.com/2023/01/14/green-hydrogen-morocco-makes-big-moves/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [104] Yihe, Xu; (2023), “Chinese contractor to build green hydrogen project in Morocco”, *upstream*, (21 Nisan 2023), <https://www.upstreamonline.com/energy-transition/chinese-contractor-to-build-green-hydrogen-project-in-morocco/2-1-1438501>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [105] Whyte, Kieran; (2022), “South Africa: Hydrogen Roadmap - A Crucial Step in the Energy Transition Journey”, *Baker McKenzie*, (8 Haziran 2022), <https://www.bakermckenzie.com/en/insight/publications/2022/06/south-africa-hydrogen-roadmap>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [106] *United Nations*, “Green Hydrogen – A viable option to transform Africa’s energy sector?”, <https://www.un.org/osaa/news/green-hydrogen-%E2%80%93-viable-option-transform-africas-energy-sector>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [107] *Center for Strategic & International Studies*, (2022), “Green Hydrogen – A viable option to transform Africa’s energy sector?”, (4 Nisan 2022), <https://www.csis.org/analysis/south-africas-hydrogen-strategy>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [108] *E-Vehicle Info*, (2022), “Top 10 Green Hydrogen Companies In The World”, (6 Aralık 2022), <https://e-vehicleinfo.com/global/top-10-green-hydrogen-companies-in-the-world/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [109] ZAFAR, FAIQ; (2022), “Top 5 Green Hydrogen Companies In The World”, *Insider Monkey*, (25 Kasım 2022), <https://www.insidermonkey.com/blog/top-5-green-hydrogen-companies-in-the-world-1089945/5/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [110] Pistilli, Melissa; (2023), “Hydrogen Stocks: 9 Biggest Companies in 2023”, *Investing News*, (5 Haziran 2023), <https://investingnews.com/biggest-hydrogen-stocks/>. (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)
- [111] Ovcina Mandra, Jasmina; (2022), “ABP, Air Products working on UK’s first large-scale green hydrogen facility”, *Offshore Energy*, (31 Ağustos 2022), <https://www.offshore-energy.biz/abp-air-products-working-on-uks-first-large-scale-green-hydrogen-facility/>
- [112] ZAFAR, FAIQ; (2022), “Top 10 Green Hydrogen Companies In The World”, *Yahoo Finance*, (25 Kasım 2022), [yho0.it/3JdeSaA](https://finance.yahoo.com/news/top-10-green-hydrogen-companies-in-the-world-1089945/5/). (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023)



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

