



HİDROJEN TÜRKİYE İÇİN BİR FIRSAT MIDIR?²

Dünya şimdi yeni bir alt üst oluş döneminden geçiyor. Pandemi ile bu süreç başladı ve artık pek çok alanda bir “yeni” konuşuluyor. Bunların arasında belki de en çok göze çarpan, ülkeler için hidrojen gibi yeni ihracat kalemlerinin ortaya çıkmasıdır. Türkiye toplam ihracatının yüzde 45’ini AB ülkelerine yapıyor. Buna G7’nin tamamını eklersek bu oran yüzde 60’a kadar yükseliyor. Tartışmalarda genellikle dönüşümün taşıdığı risklere odaklanılıyor. Öyle anlaşılıyor ki, AB gelecek 30 yılda yeşil hidrojen ithalatına önem verecek. Bu çerçevede limanlar bu ithalata imkan verecek biçimde elden geçiriliyor. Japonya benzer bir ithalatı Suudi Arabistan’dan yapmak üzere hazırlık yapıyor. Daha Aralık 2022’de Japonya ve Arabistan karbon yakalama, karbon ekonomisi, temiz hidrojen ve amonyak yakıtları konularında ortaklık antlaşması imzaladılar (Reuters 2022). Dolayısıyla, enerjinin üretimi, dağıtımı depolanması ve tüketimi konularında ekonomik-çekicilik sağlayan değişiklikler yapılması gerekmektedir. Bu değişiklikler sayesinde emisyonun düşürülmesi ile birlikte yeni iş sahalarının oluşturulması, bu iş sahalarında çalışacak iş ve işçi sayısının artması ve dolayısıyla büyük bir ekonominin doğması mümkün görünmektedir. Kısacası salımın azaltılması ve enerjide karbondan arındırma gibi önemli bir işlev yerine getirilirken aynı zamanda hidrojen ekosisteminin kurulması ile büyük bir pazarın oluşturulması planlanmaktadır. 28 ülkenin Paris İklim Antlaşması’nda belirtilen küresel ısınmanın 2 derece ve altında tutulması kararının gerçekleşmesi ve salımın en aza indirilmesinin başarılması ancak hidrojen ekosisteminin kurulması ile gerçekleştirilebilir. Bu da kademeli olarak karbon içermeyen kaynakların, günlük yaşam ve endüstri için gerekli güç üretiminde kullanılmasını gerektirmektedir. Hidrojen işte bu yüzden oldukça önemlidir. Dolayısıyla, net emisyonun sıfır olabilmesi kapsamında hidrojen teknolojileri öne çıkmaktadır. Aslında görüldüğü üzere 2053 net sıfır emisyon taahhüdünü

¹ TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği, Öğretim Üyesi
<https://www.etu.edu.tr/tr/bolum/malzeme-bilimi-ve-nanoteknoloji-muh/akademik-kadro?l=1#mehmet-sankir>
Bu çalışmada ifade edilen bulgular, yorumlar, sonuçlar, öneriler ve görüşler tamamen yazarına aittir. TEPAV’ın resmi görüşü değildir. © TEPAV, aksi belirtilmedikçe her hakkı saklıdır.

² Bu değerlendirme notu “Bilim ve Gelecek Dergisi 228. sayısında (Nisan 2023) yayımlanmıştır.
<https://bilimvegelecek.com.tr/index.php/2023/04/01/hidrojen-turkiye-icin-bir-firsat-mi/>

karşılamanın başka bir yolu neredeyse yoktur. Hidrojen doğada nadir bulunan bir gaz ve genellikle doğal gaz ile birlikte bulunuyor. Mesela Antalya Yanartaş'ta (Chimera) sönmeyen ateşin hidrojen zengin doğal gaz olduğunu biliyoruz (Hoşgörmez 2007). Özetle, hidrojen bilinen evrenin en çok bulunan elementi olmasına karşın moleküler hidrojen doğada çok az bulunur ve üretilmesi gerekir. Hem de çok miktarda üretilmesi gerekmektedir, eğer yeşil mutabakat konusunda ciddiyssek...

Hidrojen üretim yöntemine göre isimlendirilmektedir. Bunlar; fosil bazlı hidrojen, kömürden elde edilen hidrojen, doğal gazdan elde edilen hidrojen ve bunların karbon yakalama teknolojileri ile birlikte üretildikleri (mesela doğal gaz ve karbon yakalama beraber) ve temiz hidrojen yani yenilenebilir hidrojen kaynaklarından suyun elektrolizi ile elde edilen hidrojen olarak sıralanabilir. Son yıllarda bütün bunlar renk kodları ile anılmaktadır. Siyah ya da kahverengi hidrojen kömürden üretildiğini, mavi hidrojen ise hidrojenin doğal gaz kaynaklı olduğu anlaşılıyor. Eğer nükleer santralden elde edilen elektrik ile suyun elektrolizi gerçekleşiyorsa buna da pembe hidrojen deniyor. Renk kodları buna benzer şekilde popüler literatürde yer almaktadır. Şu an için hidrojen çoğunlukla doğal gazdan üretilmektedir. Burada üretilen hidrojeni de amonyak, gübre ve diğer kimyasalları yapmak için kimya endüstrisi kullanmaktadır. Tüm hidrojen üretimini düşündüğümüzde hidrojen büyük çoğunlukla fosil kaynaklı olup yeşil hidrojen üretimi oldukça sınırlıdır (yüzde 5 civarı). Çünkü hidrojeni fosil yakıtlardan (çoğunlukla doğal gaz) ekonomik olarak (1.0-1.5 Euro/kg) üretmek mümkündür (CELEX 2020). Aslında Rusya bu konuda oldukça avantajlı bir konumdaydı. Elindeki doğal gazı hidrojene karbon yakalama teknolojileri ile birlikte çevirerek Avrupa'daki büyük pazara sunabilirdi. Elbette Ukrayna savaşı sonrası bu konunun şimdilik buharlaştığını düşünebiliriz. Savaş, Avrupa'nın ihtiyaç duyduğu yıllık yaklaşık 300 milyar metreküp doğal gaza eşit enerjinin Norveç ve Belülks ülkelerinden doğal gaz, ABD ve diğer ülkeler kaynaklı LNG ile karşılanmasına ve elbette kömür ve nükleer santrallerin devreye alınmasına sebep oldu. Diğer taraftan da en önemlisi savaş, kurulmakta olan ve yılda başlangıç olarak birkaç yüz milyar dolarlık getirisi olabilecek hidrojen pazarını hızlandıracak gelişmelere sebep oldu. Artık yeni boru hattı yatırımlarından bahsetmek pek mümkün değil bunun yerine yüz milyar euroluk hidrojen üretme, taşıma ve depolama yatırımlarından bahsediliyor. Hatta Avrupa birliğinin desteklediği iki adet 40GW'lık hidrojen üretim tesisinin birinin de Ukrayna'da kurulması planlanıyor. Hatta bunun 120GW olması gerektiği konusunda tartışmalar devam etmektedir (Ansari 2022). Rusya hem doğal gaz pazarında hem hidrojen pazarında Avrupa ve Asya ülkelerinin yaptırımlara dahil olması ile zorluklar yaşamaktadır. Çin'in Rusya için bir kurtuluş olup olmayacağını zaman gösterecektir. Çin'in kendi yeşil hidrojen (şimdilik 2.5-5.0 Euro/kg) yatırımları (suyun elektrolizi) ile birlikte ucuz da olsa doğal gaza daha ne kadar ihtiyaç duyacağını göreceğiz. Ancak öyle görünüyor ki geçiş sürecinde yani tamamen yeşil hidrojenin pazara hakim olduğu senaryoya kadar, Çin, Rusya'nın desteği ile geçiş sürecinin en büyük hidrojen sağlayıcısı konumunu sürdürecektir.

Net emisyonu azaltmak amacı ile hidrojen teknolojileri ile ilgili dört ana alan var. Bunlardan birincisi ısınmadır. Isınmak ve ısıtmak için uzun zamandır doğal gaz kullanıyoruz. Bu alanda hidrojenin kullanımı doğal gazın hidrojen ile katkılanmasıdır. Böylece kısmen de olsa kullanılan doğal gazın içerisindeki karbon miktarı azaltılabilir. Elbette bu şu anda kullanılan doğal gaz iletim altyapısı ile belirli oranlarda yapılabilir. Mesela, yüzde 10 oranında katkılama, şu anki altyapı ile mümkün olabilir ancak yüzde 100 hidrojen kullanmak için iletim altyapısının tamamen değiştirilmesi gerekmektedir. Bu ancak çok yüksek molekül ağırlıklı polietilen boruların üretilmesi ile mümkün olabilir. Aslında bu coğrafyada hidrojen katkılı yakıtları

kullanmak yeni değildir. 1860'larda sokak lambalarında kullanılan, sonradan evlerimizde mutfaklarımızda hayatımıza giren ve doğal gazın ikamesi ile kullanımına son verilen ve şimdilerde unuttuğumuz hava gazı, aslında içinde hidrojen olan bir yakıt karışımıdır (çoğunlukla karbondioksit ve metan) (Mazak ve Karayaman 2014). Bu gaz kömürden üretildiği için hava kirliliği açısından oldukça kötüdür ve sonrasında doğal gaz ile yer değiştirmesi bu yüzdendir. Bilindiği üzere ülkemizde doğal gaz üretim hatları yoğun olarak bulunmaktadır. Mevcut hatlara ya da kurulacak yeni iletim hatlarına hidrojen katkılanması ve bunun ticaretini yapmak mümkün olabilir. Ancak Ukrayna-Rusya savaşı, Rus gazının katkılanması Avrupa'ya satılmasını şimdilik imkan dışı bırakmaktadır. Savaştan önce, mesela Tanap hattına hidrojen katkılanması ve bunun ticaretini yapmak mümkün olabilirdi. Bir diğer yol Türkiye Cumhuriyetlerinden getirilecek gazın ülkemizde yeşillendirilerek (hidrojen katkılanması ile) Avrupa Birliği ülkelerine satılması mümkündür. Türkiye, AB'ye ihraç ettiği ürünler listesine hidrojeni bu şekilde ekleyebilir. Ancak bütün bunların olabilmesi için ülkemizin yeşil hidrojen üretme kapasitesini oluşturması gerekir. Bu da ancak yenilenebilir enerjiye yeni yatırımlar yapılması ile mümkündür.

Diğer bir başlık ise ulaşım alanıdır. Buradaki lokomotif teknoloji, hidrojen yakıt pilleridir. Yakıt pilleri ile çalışan elektrikli araçlar sıfır emisyonu sahiptirler. Dışarıya sadece su buharı atılır. Yakıt pilleri ile çalışan araçlar şu an kullanılan lityum tabanlı elektrikli araçların yerlerini alacaklardır. Hemen her otomotiv firmasının geliştirdiği proton geçirgen membran tipli yakıt pili ile çalışan aracı vardır. Bunların arasında en çok göz dolduranlardan birisi Toyota firmasının geliştirdiği Mirai™ aracıdır. Japonya'nın hidrojen ile bu kadar çok ilgilenmesinin yukarıda anlatılan enerji konularının dışında ulaşım sektöründeki hidrojenli araçlardır (tüm emisyonun yüzde 75'i enerji ile ilgili olup geri kalan yüzde 25 ise ulaşım kaynaklıdır). Bu aracın lityum bazlı elektrikli araçlara göre belirgin avantajları vardır. En önemlisi yakıt pili ile çalışan araçları şarj etmenize gerek yoktur. Bu da şu an lityum bazlı araçlar için gerekli olan şarj istasyonlarının yirmide bir oranına düşmesini sağlayacaktır. Hidrojen araçların menzilleri lityum bazlı elektrikli araçlara göre daha fazladır. Hidrojen araçlarının ekonomik bir hale getirilmesi gerekmektedir. Bu alanda önemli ilerlemeler gerçekleşmiştir ve ar-ge süreçleri neredeyse tamamlanmıştır. Lityum bazlı araçlar, elektrikli araçlar kategorisinde geçiş süreci araçlarıdır. Ancak bu araçları üretmek oldukça önemlidir. Çoklu olarak bir tip elektrikli aracı üretme kabiliyeti ile ancak hidrojen yakıt pilli aracı üretmek mümkün olabilir. Böylece hidrojeni ihracat kalemine ulaştırma sektörü özelinde de eklememiz mümkün olabilir.

Üçüncü alan ise depolama, yani enerjinin hidrojen ve benzerleri olarak depolanmasıdır. Hidrojen bir enerji taşıyıcısıdır. Ürettiğiniz enerjiyi arz talep durumuna göre depolamak mümkündür. Hidrojen ve türevleri katı, sıvı ve gaz formunda depolanabilir. Depolama şekli herhangi bir kapasite kaybına yol açmaz. Depolama işi yoğun nanoteknolojik süreçler içerebilir. Ayrıca bor bileşikler sıvı ve katı depolama konusunda literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Anlık yüksek hızlarda hidrojen üretimi bor bileşikli hidrojen depo alıcılarından sağlanabilir. Bir başka hidrojen ihracat kalemi bor teknoloji anlık yüksek hızlı hidrojen üreticileridir. Araçlarda kullanılan hidrojen için ise sıvılaştırılmış hidrojeni taşıyacak kriyojenik dolum istasyonlarına ihtiyaç vardır. Ancak araçta gaz, karbon kompozit bazlı basınçlı tüplerde bulunmaktadır. Bu karbon bazlı kompozit kaplar kendini, depolama alanında havacılık sektöründe de ispatlamışlardır. Hemen her geometride bu tür güvenli hidrojen depo kaplarını üretmek artık mümkündür.

Sonuncu alan ise hidrojen kullanarak değerli kimyasallar elde etmektir. Hidrojeni ve karbondioksiti kullanarak dizel, kerosen gibi yüksek değerli hidrokarbon sıvılar elde etmek mümkündür. Elbette bu sıvılardan enerji elde edildiğinde karbondioksit salımı olacaktır. Ancak salımın bu değerli kimyasalların üretiminde yeniden kullanılacağından net sıfıra olumlu katkısı mevcuttur. Bu alanda ihracat kalemi yaratabilmek için karbon yakalama teknolojilerinin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bahsi geçen teknolojilere ihtiyaç duyan ve bunları doğrudan kullanmak zorunda kalacak sektörler çelik, çimento, alüminyum ve gübredir. Bu sektörlerin ortak paydası enerji yoğun süreçler içermeleridir. Çimento sektörünün ayrıca özel bir durumu vardır. Çünkü hem çimento üretmek hem de üretim reaksiyonlarından dolayı ciddi bir emisyon oluşur. Bir ton çimento üretmek, yaklaşık bir ton emisyonu sebep olur. Bu alanda iki temel yaklaşım vardır. Birincisi üretim süreçlerinde kullanılan ısının bir kısmının yenilenebilir enerjiden karşılanması ve karbon yakalama teknolojilerinin kullanılmasıdır. Diğeri ise çimento malzemesinin belki de tamamıyla yenilikçi malzemeler ile yer değiştirmesidir. Yani çimento belki de bildiğimiz çimentodan bütünüyle farklı malzemelerden oluşturulacaktır. Çelik sektöründe ise net sıfır için önemli atılımların yapılması gerekmektedir. Çelik üretimi tüm dünyada temel olarak iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Bunlardan birincisi demir madeninden kömür kullanarak karbon indirgemeyle demir ve çelik üretimidir. Diğeri ise hurda çelik kullanımıdır. Ülkemizde üretilen çeliklerin yüzde 70'i hurda çelik, yüzde 30'u da tam skala üretim tesisi dediğimiz kömür kullanan tesislerdir. Tam skala tesisler kömür yerine hidrojen kullanarak indirgeme süreçlerini gerçekleştirebilir. Buna demir madeninden hidrojen ile doğrudan demir indirgeme denir ve Avrupa'da yaklaşık yüzde 2 seviyelerinde demir/çelik artık bu şekilde üretilmektedir. Hurda çelik üretimi sırasındaki emisyon tam skala tesislere göre oldukça azdır. Ayrıca hurda çelik üretimi yüksek fırınların bir kısım gücün yenilenebilir enerji ile karşılanması sayesinde kısmen net sıfıra hizmet edebilir. Hurda çelik üretimi ile ilgili iki temel problem vardır. Bunlardan birincisi hurda bulmanın zorluğu olacaktır. Çünkü her ülke zaten daha az emisyon içeren hurda çelik üretimini kendisi için kullanmak isteyecektir. Bu ülkeler hurdayı şimdi olduğu gibi uygun koşullarda satmayı düşünmeyebilirler. Bir diğeri sorun hurda çeliğin kompozisyonudur ve kompozisyon ile üretim süreçlerinde oynamak sınırlı bir şekilde yapılabilir. Dolayısıyla elinizdeki çeliğin niteliği ile sınırlısınızdır. Bunun dışında hurda çelik yeniden üretildiğinde kalitesinde değişimler olur ve daha düşük kaliteli bir ürün elde etmiş olursunuz. Bir diğeri emisyon yoğun sektör de gübre üretimidir. Gübre üretmek için de gerekli olan hidrojen hali hazırda çoğunlukla doğal gazdan elde edilmektedir. Dolayısıyla gübre sektörü de başlı başına ciddi bir emisyon yaratmaktadır ve yeşil hidrojen burada da önemli bir rol oynayacaktır. Enerji bakanlığının geçenlerde açıkladığı yol haritası (Türkiye Hidrojen teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası 2023) önemli bir gelişme olmuştur. İhtiyaç ve çözüm önerileri ilgili raporda yer almaktadır. Bu planın emisyonu azaltacağı açıktır. Ancak şu anki mevcut emisyonumuzu oluşturan kalemler nelerdir? Üretilen hidrojen ile bu kalemlerde hangi oranda karbonsuzlaştırma yapılacaktır? Ayrıca 2053 yılına kadar büyüme eksenindeki tahminler nelerdir? Bir sonraki raporda bu konulara da değinilmesi önemlidir.

Sonuç olarak görüldüğü üzere pandemi süreci ile başlayan ve Ukrayna savaşı ile yaratılan belirsizliğe rağmen iklim değişikliği, temiz ve güvenilir enerji kaynakları, enerji verimli binalar, sürdürülebilir ve akıllı mobilite, biyoçeşitlilik ve ekosistemler, sıfır kirlilik, çevreye zararlı olmayan ortamlar ve sürdürülebilir bir endüstri konularında toplumsal etki yaratacak çalışmalar hız kazanmıştır. Dolayısıyla enerji üretimi, dağıtımı, depolanması ve karbon ayak izini arttıran sektörlerin yeniden kurgulandığı yeni bir jeopolitik düzen öngörülmektedir. Kısacası karbon ayak izinin takip edileceği yeni bir ekonomik düzen oluşturulmak istenmektedir. Yukarıda

bahsedildiği üzere, Yeşil Mutabakat sadece Avrupa Birliği ülkelerini değil, enerji üreten, dağıtan ve pazara hâkim tüm küresel oyuncular ile birlikte ülkemiz gibi çelik, çimento, alüminyum ve karbon yoğun çıktı üreten paydaşları da oldukça etkileyecektir. Türkiye doğal gaz ithalatçısı ve taşıyıcısı konumundan sıyrılıp hidrojen ihraç edebilen, ilgili sektörlerde karbon yerine hidrojen kullanan, karbon yakalayan teknolojileri kullanan bir konuma ulaşabilir ve yukarıda bahsedildiği gibi enerjiden ulaşımına pek çok alanda hidrojeni ihracat kalemine ekleyebilir. Elbette tüm bunların gerçekleşmesi için maliyetlerin önemli oranda düşürülmesi gerekmektedir. Tüm dünyada henüz bu “yeni” her ne kadar vicdanlarda kabul görse de iktisadi olarak uygulanabilirliği için ilgili teknolojilerde önemli gelişmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Öyle görünüyor ki yeraltı kaynakları olmayan ülkeler dahi enerji alanında önemli mesafeler kat edebilir. Bu “yeni”, aslında herkese başlangıç noktasında şimdilik eşit bir şans sunuyor.

Kaynakça:

- Ansari D., Grinschgl J., Pepe J.M., Electrolysers for the Hydrogen Revolution, SWP Comment, ["https://www.swpberlin.org/publications/products/comments/2022C57_Electrolysers_HydrogenRevolution.pdf"](https://www.swpberlin.org/publications/products/comments/2022C57_Electrolysers_HydrogenRevolution.pdf), 2022.
- CELEX_52020DC0301_EN_TXT, A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, Communication From The Commission To The European Parliament, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions, ["https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301&from=EN"](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301&from=EN) ,Brussels, 8.7.2020 COM(2020) 301 final.
- Hoşgörmez H., Origin of the natural gas seep of Cirali (Chimera), Turkey: Site of the first Olympic fire, Journal of Asian Earth Sciences 30 (2007), 131-141.
- Karayaman, M., Ankara Elektrik Türk Anonim Şirketi Tarihçesi (1929-1939), Osmanlı Bilimi Araştırmaları, XVI/1 (2014): 50-72
- Mazak, M., Türkiye’de Modern Aydınlatmanın Başlangıcı ve Aydınlatma Tarihimize Genel Bir Bakış (1853-1930), Türkiyede Aydınlatma Tarihine Giriş, https://www.emo.org.tr/ekler/94a988102edcd4b_ek.pdf
- Reuters, ["https://www.reuters.com/business/energy/japan-minister-signs-clean-energy-cooperation-document-during-saudi-visit-2022-12-25/"](https://www.reuters.com/business/energy/japan-minister-signs-clean-energy-cooperation-document-during-saudi-visit-2022-12-25/) 2022.
- Türkiye Hidrojen teknolojileri Stratejisi ve Yol Haritası ["https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/SGB/tr/Kurumsal_Politikalar/HSP/Hidrojen_Stratejik_Plan2023.pdf"](https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/SGB/tr/Kurumsal_Politikalar/HSP/Hidrojen_Stratejik_Plan2023.pdf) , 2023.