BRIQ

Kuşak ve Yol Girişimi Dergisi

Cilt 3 Sayı 3 **Yaz 2022**

BRIQ, Türkçe-İngilizce,
üç aylık uluslararası siyaset, ekonomi ve kültür dergisidir.

ISSN 2687-5896

Genel Yayın Yönetmeni
(Sorumlu Müdür)
Fikret Akfırat

Yayın Kurulu Koordinatörü • Doç. Dr. Efe Can Gürcan, İstinye Üniversitesi

Yazıişleri Müdürü • Orçun Göktürk, Uluslararası İşletme ve Ekonomi Üniversitesi

Yazıişleri Müdür Yardımcısı • Onurcan Balcı, Liaoning Normal Üniversitesi

Yayın Kurulu

Mehmet Adnan Akfırat, Türk-Çin İş Der • Latif Bolat, Türk Müziği ve Folklörü Uzmanı • Salih Ertan, Elektrik Mühendisi
Doç. Dr. Efe Can Gürcan, İstinye Üniversitesi • Hüseyin Haydar, Şair • Doç. Dr. Şiir Kılkış, TÜBİTAK, ODTÜ
Serhat Latifoğlu, Serbest Fon Yöneticisi • Prof. Dr. Uğur Murat Leloğlu, Türk Hava Kurumu Üniversitesi
Dr. Ali Şahin, İstanbul Üniversitesi • Ebru Şahin, Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Hande Günözü Ulusoy • Dr. Öğr. Üyesi Yang Chen, Şanghay Üniversitesi

Danışma Kurulu

Cankut Bagana, Onur Air Yönetim Kurulu Başkanı • Prof. Cheng Enfu, Çin Sosyal Bilimler Akademisi
Prof. Ding Xiaoqin, Dünya Politik Ekonomi Derneği Genel Sekreteri • Prof. Dr. Guo Changgang, Şanghay Sosyal Bilimler Akademisi
Prof. Dr. Yang Guang, Tsinghua Üniversitesi • Prof. Dr. Emin Gürses, Yeditepe Üniversitesi
Doç. Dr. Han Zhimin, Şanghay Uluslararası Çalışmalar Üniversitesi • Faik Işık, Avukat • Wu Keming, Emekli Büyükelçi
Murat Kolbaşı, DEİK Asya Pasifik İş Konseyleri Koordinatör Başkanı • Prof. Dr. Semih Koray, Bilkent Üniversitesi
Ethem Sancak, ES Yatırım Yönetim Kurulu Başkanı • Prof. Dr. Sun Degang, Fudan Üniversitesi

Editörler

Necati Demircan, Şahghay Üniversitesi, Doktora öğrencisi • Ahu Yalçın Terzi, Çevirmen
Şafak Terzi, Gazeteci • Arda Tunçel, Şanghay Üniversitesi, Yüksek Lisans öğrencisi
Serdar Yurtçiçek, Uluslararası İşletme ve Ekonomi Üniversitesi, Doktora öğrencisi

İngilizce Dil Editörü • Dr. Sean Thomas McKenna

Grafik Tasarım • Çiçek İlsever

Yönetim Yeri
Esentepe Mah. Yüzbaşı Kaya Aldoğan Sk. No: 4 İç Kapı No: 209 Şişli-İstanbul
www.briqjournal.com • editor@briqjournal.com
+90 (212) 401 13 33 +90 (212) 401 13 34 +90 (532) 525 91 56

Yayın Türü • Süreli Bilimsel Dergi

Genel Müdür • Ayhan İlhan

Sahibi
Çin İş Geliştirme ve Dostluk Derneği (Türk-Çin İş Der) adına Emine Sağlam

Baskı • Özkaracan Matbaa
Evren Mah. Gülbahar Cad. No:62 Güneşli / Bağcılar - İstanbul

Bu dergi INDEX COPERNICUS INTERNATIONAL ve CiteFactor Academic Scientific Journals da indekslenmektedir.

/briqdergisi

Yayın İlkeleri

Dünya siyasetinin çok kutuplulaşması ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki işbirliğinin hız kazanması, Amerika Birleşik Devletleri'nin tek kutuplu bir dünya düzeni yaratma arzusunu boşa çıkarmıştır. İşte böyle bir dönemde, emperyalist devletlerin küreselleşmeciliğini reddeden yeni bir dünya düzeninin şekillendiği gözlemlenmektedir. Şekillenmekte olan yeni dünya düzeni, kamusal ağırlıklı projeler üzerinden ortak kalkınma ve dayanışma sağlamaya meyilli gelişmekte olan ülkelerin gereksinim ve özlemlerine yanıt vermelidir. Özellikle Çin Halk Cumhuriyeti Devlet Başkanı Xi Jinping'in 2013'te ortaya attığı Kuşak ve Yol Girişimi, bu temelde yeni bir işbirliği modeli için uygun bir fırsat ve zemin oluşturmuştur.

Kuşak ve Yol Girişimi, İpekyolu kavramını yeniden uygulamaya yönelik çığır açıcı bir hamledir. İpekyolu, 2 bin yıl öncesine kadar Çin'in küresel refaha, ticarete ve işbirliğine yoğun şekilde katkı koyduğu bir dönemi betimlemektedir. Günümüzün İpekyolu projesi ise bu kez demir ve deniz yollarının yanı sıra dijital sistemleri de içermektedir.

Kuşak ve Yol Girişimi; Çin'in teklifi ve desteğiyle Asya, Avrupa, Afrika ve Latin Amerika'dan 60'ın üzerinde ülkeyi ortak refah ve kalkınma gayesiyle bir araya getirmeyi öneriyor. Bütün bu ülkeler, günümüzde dünya gayri safi milli hasılasının neredeyse yarısını gerçekleştirmektedir. Kuşak ve Yol Girişimi; Batı merkezli dünya düzeninden farklı olarak, insanlığın ortak çıkarları adına küresel üretim ve ticareti ilerletmeye yönelik barışçıl bir işbirliği yaratma arzusundadır. Emperyalist sömürü düzenini kesin olarak reddetmektedir. Barut, baharat, ipekliler, pusula ve kâğıdı 2 bin yıl önce insanlığa sunan Asya merkezli İpekyolu; bugün de yapay zekâ, kuantum bilgisayarı, yeni enerji ve malzeme teknolojileriyle uzay vizyonunu yaygınlaştırmayı, gelişmekte olan ülkelere teklif ediyor. Bunun yanı sıra, Kuşak ve Yol Girişimi, ekosistemi yok olmanın eşiğine getiren iklim değişikliği ve diğer çevresel tehditlere karşı biyoekonomik planların oluşturulup harekete geçirilmesi için paydaş ülkelere teşvik ve fırsatlar sunmaktadır.

Türkiye, gelişmekte olan ülkeler arasındaki işbirliğini ilerletmede kilit bir konuma sahiptir. Tıpkı eski İpekyolu'nda olduğu gibi, Kuşak ve Yol Girişimi'nin Asya'dan batıya açılan en ileri kapısı konumunda olacaktır. Yine Türkiye, Kuşak ve Yol Girişimi'nin Kuzey-Güney ve Doğu-Batı ekseninde son derece önemli bir konumdadır. Ancak genel olarak Çin'in gelişmesi ve Kuşak ve Yol Girişimi'nin insanlığın geleceğine katkıları; Türkiye'de akademide, medyada ve siyaset dünyasında çok yüzeysel bir şekilde bilinmektedir. Bu durumun başlıca nedeni, Türk akademi ve medyasının, buna bağlı olarak da siyasi karar vericilerin, Çin'i Batı kaynaklarından takip etmeleridir. Aynı şekilde Türkiye'deki değişim ve dönüşümlerle ilgili bilgiler, Batı kaynakları süzgecinden geçerek Çin'e ve Kuşak ve Yol Girişimi'nin potansiyel ortakları olan diğer ülkelere ulaşmaktadır.

BRIQ, Asya Yüzyılı'na doğru ortaya çıkan yeni olanak ve güçlükleri derinlemesine anlama amacıyla yayın hayatına atılmıştır.

BRIQ, öncelikle Çin ve Türkiye'nin akademisyen, aydın ve karar vericileri arasında doğrudan görüş ve bilgi alışverişini sağlayacaktır. Aynı zamanda insanlığın ortak geleceği için tarihsel olanaklar sağlayan Kuşak ve Yol Girişimi temelinde bütün dünyanın, özellikle de gelişmekte olan dünyanın entelektüel birikimini bir araya getirecek bir platform olma iddiasındadır.

Dergi, bireysel kâr ve çıkar sistemine karşı halkın yararının temel ilke olarak benimsendiği kamucu ekonomilerin dönüştürücü gücünü ortaya koyan entelektüel katkıların yayımlanmasına adanmıştır. Özellikle Kuşak ve Yol Girişimi'nin kamucu ekonomi modelinin uygulanmasındaki rolünü ve bu girişimin gelecekteki ortaklarının mevcut dönüştürücü potansiyele katkılarını anlamak derginin öncelikleri arasındadır.

BRIQ, adil bir uluslararası dünya düzeni altında insanlığın birliğini savunmaktadır. Dolayısıyla Avrasya, Afrika ve Amerika başta olmak üzere tüm dünyadan seçkin akademisyen ve aydınların buluştuğu bir yayın organı olacaktır. Barış, kardeşlik, işbirliği, refah, toplumsal fayda ve ortak kalkınma ilkeleri temelinde yeni bir uygarlığın savunucuları BRIQ çatısı altında buluşacaklardır.

Yazım Kuralları

BRIQ, akademik makalelerden kitap incelemelerine, araştırma/inceleme yazılarına, röportajlara, haber bültenlerine ve ana makalelere uzanan geniş bir içerik dizisini yayımlar.

Yayın Kurulu, özel konular için bildiri çağrısı yayınlayabilir; yazılara katkı sağlaması için yazarları davet edebilir. Ayrıca talep edilmemiş gönderileri de memnuniyetle karşılar.

Gönderiler İngilizce ya da Türkçe kabul edilir. Tüm gönderiler kısa bir biyografi (en fazla 150 kelime) içermeli ve briq@briqjournal.com adresine Microsoft Word dosya eki olarak gönderilmelidir. Daha önceden yayımlanmış olan ya da başka dergiler tarafından incelenmekte olan makaleler ve diğer içerikler yayımlama için dikkate alınmayacaktır.

BRIQ, American Psychology Association (APA, 6th edition, https://www.apastyle.org) yöntemini izler ve İngilizce makalelerde Amerikan İngilizcesi yazımını kullanır.

BRIQ, tüm "akademik makaleler" için çift kör hakem değerlendirme sürecini uygular.

Akademik makaleler özler, notlar, referanslar ve diğer tüm içerikler dahil 5000 ila 9000 kelime aralığında olmalıdır. Bir özet (en fazla 200 kelime) ve 5 anahtar kelime içeren tamamen isimsizleştirilmiş yazının ve tam yazar bilgisinin dahil olduğu bir kapak sayfası da dergiye ulaştırılmalıdır.

Kitap incelemeleri 1000 kelimeden uzun olmamalıdır. İki ya da daha fazla çalışmayı içeren araştırma/inceleme yazıları en fazla 3000 kelime olabilir.

Haber gelişmelerinin kısa analizini içeren haber bültenleri, 1500 kelimeden uzun olmamalıdır. Rapor ve analizi birleştiren ana makaleler en fazla 3500 kelime olabilir.

Röportaj önerileri için lütfen Yayın Kurulu ile iletişime geçiniz.

EDİTÖRDEN

Yeni Uygarlığın Enerjisi

İnsanlık, demokratik devrimlerle, eşitliği, özgürlüğü, kardeşliği, dayanışmayı, insancıllığı yeniden keşfetmişti. Milli kurtuluş savaşları ve farklı ülkelerdeki sosyalizm pratikleri de dayanışma, paylaşma, toplumculuk, ortaklaşmacılık doğrultusundaki büyük atılımları ile insanlığın çağlar aşmasını sağladı. İlerlemenin motoru olan bu insan hasletleri emperyalist kapitalizm tarafından yok edilmeye çalışıldı.

Dünya üzerindeki uygarlıklar, dönemlerine göre kullanılan temel enerji kaynaklarına dayanarak ele alınacak olursa, şöyle bir sıralama yapılabilir: İnsanın ateşi keşfetmesinden sonra temel enerji kaynağı odundu. Buhar gücünün keşfi ve endüstri devrimiyle 18 ve 19'uncu yüzyıllar ağırlıklı olarak kömüre, 20'nci yüzyıl ve içinde bulunduğumuz 21'inci yüzyılın başı petrol ve doğalgaza dayanan uygarlık olarak nitelenebilir. Temel enerji kaynaklarına sahip olma konusu başlangıcından itibaren dünyadaki güç mücadelesinin de bir konusudur. Emperyalist devletler, dünya üzerindeki sınırlı miktardaki geleneksel fosil kaynaklarının tamamını kontrol etmek üzere uluslararası siyaseti şekillendirmeye çalışmaktadır.

Bugün dünyada hakim olan neoliberal küreselleşmeci sistemin ciddi bir kriz yaşadığı genel kabul görmektedir. Savunucuları da bu durumu saptamaktadır ve sistemi yeniden düzenleme arayışındadır. Neoliberal küreselleşmeci sistemin yıkıcı etkileriyle mücadele eden gelişmekte olan ülkeler ise daha adil bir uluslararası düzenin kurulmasını talep etmektedir.

Son 30 yıldır ABD'nin başını çektiği tek kutuplu dünya düzeninde hakim olan neoliberal küreselleşmeci sistem, sosyal, ekonomik ve kültürel düzlemde insanı ve doğayı çürüten, giderek gezegenimizdeki canlılığı tehdit eden bir sonuç ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle bugün geleneksel fosil yakıtlarına dayanan hakim sistemin, bir "uygarlık krizi"ne yol açtığını söylemek mümkündür.

Dünya üzerindeki canlılığı doğayı ve toplam olarak gezegenimizi çürütmekte olan mevcut sistem çatırdamaktadır. Bu koşullarda insan ve doğa arasındaki uyumu esas alan paylaşmacı, dayanışmacı, eşitlikçi, ortaklaşmacı değerler üzerinde yükselen bir uygarlık insanlığın ve gezegenin geleceğini kurtarabilecektir. Ekolojik uygarlık olarak adlandırabileceğimiz bu yeni uygarlığın kaçınılmaz olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayanma zorunluluğu bulunmaktadır. Bu kapsamda yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen yeşil hidrojen temel enerji kaynaklarının başlıcası olarak öne çıkmaktadır.

Daha ileri bir uygarlığı kurmanın ilk koşulu enerjinin bol, ucuz, kolay ulaşılabilir, yenilenebilir ve çevreye zarar vermeyen nitelikte olmasıdır. Bugünkü bilimsel teknolojik gelişmeyle bulunan çözüm yeşil hidrojen enerjisidir.

Çin'in, dünyada lider konumda olduğu yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimini geliştirme konusuna Kuşak ve Yol Girişimi (KYG) kapsamındaki işbirliklerinde özel önem verdiği bilinmektedir. Gelişmekte olan ülkelerin öncülüğünde şekillenen KYG, sadece adil bir uluslararası ilişkiler ve işbirliği modeli olmanın ötesinde paylaşmacı, dayanışmacı insan ve doğa arasındaki uyumu temel alan yeni uygarlığın zemini olmaktadır. Yeşil enerji alanında Kuşak ve Yol Ülkeleri arasındaki işbirliğini geliştirmek, hem Kuşak ve Yol Girişimi'ni güçlendirecek hem de söz konusu ülkelerin kalkınmasını hızlandıracaktır.

FİKRET AKFIRAT
Genel Yayın Yönetmeni

İÇİNDEKİLER

06-20

BİROL KILKIŞ

HAKEMLİ MAKALE

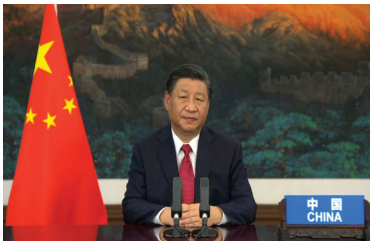
Yeşil Hidrojen: Kuşak ve Yol Girişimi'nin Ortak Bağı

22-49

İ. ENGİN TÜRE

HAKEMLİ MAKALE

Türkiye'nin Enerji ve Değişikliği Sorunlarına Kesin Çözüm: Hidrojen Yakıtı



50-53

XI JINPING

İnsan ve Doğa İçin Müşterek Bir Yaşam Yaratmalıyız

54-71

SALİH ERTAN

DERLEME MAKALESİ

Ekolojik Uygarlığın Enerjisi: Hidrojen

72-87

RAPOR

Çin'in Hidrojen Endüstrisi Planı Şanghay'da Hidrojen Endüstrisi Uygulamaları ve Gelişimi

88-89

SEMPOZYUM RAPORU

1. Uluslararası Kuşak ve Yol İnisiyatifi Türkiye Sempozyumu: Türkiye Dijital İpek Yolu'nun Öncüsü Olacak

90-92

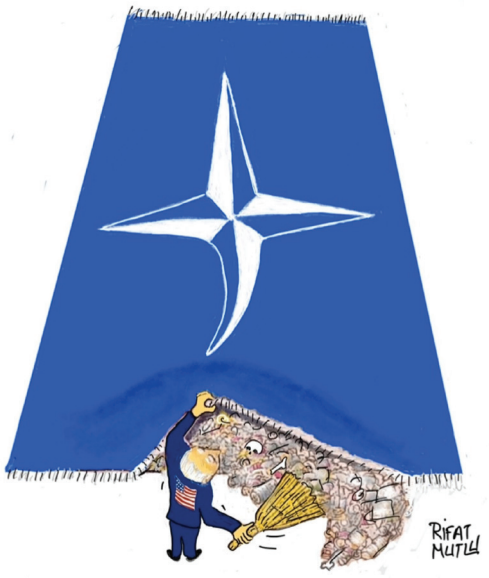
KİTAP İNCELEME

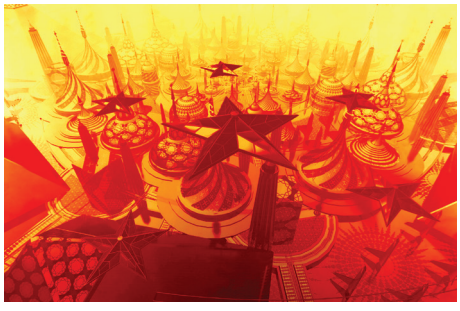
LIN SHITING

Kuşak ve Yol Girişimi'nin İç Nedenleri

93 FOTOĞRAF

CARL GUSTAV MANNERHEIM





94 RESİM

ALEKSEY BELIAYEV GUINTOVT

95 KARİKATÜR

RİFAT MUTLU

Yeşil Hidrojen: Kuşak ve Yol Girişimi'nin Ortak Bağı

BİROL KILKIŞ
Prof.Dr.
OSTİM Teknik Üniversitesi

Birol Kılkış, 1949 yılında Ankara'da doğdu. ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1970 yılında Yüksek Şeref derecesi ile mezun oldu. 1971-1972 yıllarında TÜBİTAK bursu ile Brüksel NATO von Karman Enstitüsünde akışkanlar mekaniği ve aerodinamik konularında çalışarak şeref de-recesi ile mezun oldu. 1973 yılında yüksek lisans ve 1979 yılında doktora derecelerini aldı. 1981 yılı TÜBİTAK Teşvik Ödülü sahibi Kılkış, 1999'da ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümü Profesör kadrosundan emekli oldu. Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Derneği'nin (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers- ASHRAE) değişik teknik komitelerinde görevlidir. 2003 yılında uluslararası başarılarından dolayı ASHRAE Fellow üyeliğine yükseltilen Kılkış, 2004 yılında da Seçkin Öğretim Görevlisi (Distinguished Lecturer) se-çilmiştir. 2008'de Seçkin Hizmet (Distinguished Service) ve İstisnai Hizmet (Exceptional Service) ödüllerini almıştır. Yeşil ve sürdürülebilir binalar konusunda uzman olup, karbondioksit salımları, enerji performansı ve bölge enerji sistemleri üzerinde ekserji tabanlı çözümlemeleri bulunmakta-dır. Yeni Nesil Melez Güneş Enerjisi Sistemleri ve Isı Pompaları üzerinde patentleri mevcuttur. AB Baş-kanlığına karbon dioksit azaltımı konusunda raporlar hazırlamaktadır. 2017-2019 yılları ara-sında Türk Tesisat Mühendisleri Derneği'nin Yönetim Kurulu Başkanlığı'nı yürütmüştür. Halen Av-rupa Birliği Yenilenebilir Isıtma ve Soğutma Platformu Başkan Yardımcılığı görevini yürütmektedir.

E-posta: birolkilkis@hotmail.com *https://orcid.org/0000-0003-2580-3910*

Geliş Tarihi: 25.04.2022
Kabul Tarihi: 06.05.2022

Atıf: : Kılkış, B. (2022). Yeşil Hidrojen: Kuşak ve Yol Girişimi'nin ortak bağı. *Kuşak ve Yol Girişimi Dergisi (BRIQ),* 3(3), 6-20.

ÖZ

Bu makale, Hükümetler Arası İklim Değişikliği Panelinin (IPCC) Altıncı Değerlendirme Raporuna yanıt olarak küresel sera gazı salımlarının 2025'ten önce zirveye çıkıp 2030'a kadar yarıya indirilmesiyle küresel ısınmanın nasıl 1.5°C'nin altında tutulabileceğini kuşak yol bağlamında göstermektedir. Bu makalede, net-sıfır karbon hedefine yönelik tüm çevresel parametreler ve salım kaynakları arasında bütünleyici bir boyut olarak karbonsuzlaştırma için şehirlerin kümelenmesine öncelik verilmesinin gereği belirtilmektedir. Bu arayışta, kuşak ve yol girişimi hem büyük bir sorumluluk hem de fırsat taşımaktadır, çünkü tüm büyük şehirler ve kentsel alanlar kuşak ve yol girişiminin rotasında veya yakınındadır ve birbirleriyle bağlantılıdır. Esas olarak enerji ve ekserji eksenindeki ana güdü, küresel Gayri Safi Yurtiçi Hasıla toplamının neredeyse dörtte birinin kuşak ve yol ülkelerinde üretilmesidir. Bu bağlamda, Doğu Asya'dan Avrupa'ya tasarlanan, kuşak ve yol ülkelerini tek bir yeşil hidrojen hattında birbirine bağlayan ve hem ısı hem de güç alışverişi, iletimi ve depolanmasının tek bir hat boyunca gerçekleştiren bir kavram geliştirilmiştir. 2050 için Paris Anlaşması hedeflerine yönelik kuşak ve yol girişimini güçlü bir şekilde desteklemek için tasarlanan bu kavram yeşil bir hidrojen bağlantısı ile amacına ulaşabilecektir.

Anahtar Kelimeler: hidrojen kuşak yolu, ısı ve gücün birleşik taşınımı, iklimsel kriz, yakıt pili, yenilenebilir enerji

Giriş

HÜKÜMETLER ARASI İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ Panelinin (IPCC) Altıncı Değerlendirme Raporu, küresel ısınmanın yaklaşık 1.5°C ile sınırlandırılması sürecinde, küresel sera gazı salımlarının 2025 yılından önce zirveye ulaşmasını takiben 2030 yılına kadar yarıya indirilmesinin gerekli olduğunu vurguluyor. Bu bağlamda, kentlerin tüm unsurları ve çevresel parametreleri arasında salım kaynaklarının karbondan arındırması yönünde ayrılmaz bir boyut olarak ele alınması ve net-sıfır tanımlı olarak önceliklendirilmesi gerekiyor (IPCC, 2022; Kilkis, S., 2022). Bu açıdan bakıldığında, küresel ısınmaya karşı net-sıfır ekserjiye yönelen yapılı çevre ve kentlerin oluşturulma arayışları önem kazanmaktadır (Kılkış, Ş. 2012; Kılkış, Ş., 2014). Ekserji, belirli bir enerji miktarı veya akışının yararlı iş potansiyeline (katma değer) sahip bölümüdür. Belirli bir sistem veya ekipmanın arz ve talep ekserjileri arasındaki uyumsuzluklarından kaynaklanan yaklaşık olarak önlenebilir ΔCO_2 salımlarının tanınmasında önemli bir rol oynar. Bu tür salım sorumlulukları, takip eden bölümlerde gösterileceği üzere %100 yenilenebilir kaynaklar için de geçerlidir ve karbonsuzlaşma arayışları arasında önemli bir yer tutar.

Bu arayış içerisinde, Kuşak ve Yol Girişimi (KYG) büyük bir sorumluluk ve önem taşımaktadır, çünkü tüm büyük kentler ve yapılı çevre KYG'nin rotasındadır. Küresel Gayri Safi Yurt İçi Hasılanın (GSYİH) yaklaşık dörtte birinin KYG ülkelerinde üretiliyor olması nedeni ile, bu ülkeler sadece enerji ve ekonomi açılarından değil, enerjinin katma değer potansiyeli açısından da akılcı üretilip değerlendirilmesinde birbirleriyle bağlanmalı ve bütünleşmelidirler.

Bu nedenle, KYG ülkelerinin karbonsuzlaştırılmaları daha da önem arz etmektedir. Bu bağlamdaki asıl sorun, karbonsuzlaştırmada mevcut ekonomik ve teknik enstrümanların baskın etkiye sahip olmalarıdır.

Vivid'in (2019) KYG'yi karbondan arındırma raporu, sadece bir "yeşil finans" yol haritası içermekte ve bunu anahtar çözüm olarak görmektedir (Vivid, 2019). Bu kısıtlı çerçevede kalındığı sürece Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından önerilen, doğrusallaştırılmış Pareto ilkesi gibi -yüz yıldan eski- ekonomik kuralların ve sürdürülebilir fonlar olarak adlandırılan yeşil finansman araçlarının tek başına Paris anlaşması hedeflerini karşılayamayacağı bu makalede gösterildiği üzere gayet açıktır. Karbon dioksit ve diğer sera gazı salımlarının temel nedenleri klasik ekonominin kavrayabileceğinin çok ötesinde karmaşıklık arz eder. Makalede, günümüz politikacılarının ve hatta bazı bilim adamlarının mevcut öngörülerinin çok ötesine geçen, sürdürülebilir çözümler için yenilikçi teknik konuların baskın olması gereği vurgulanmaktadır. Bu nedenle, yeşil bir KYG'nin oluşumunda tüm ortak ülkeler ekonominin çok ötesinde, sorunun görünmeyen tarafını da görerek birlikte geliştirecekleri, yenilikçi mühendislik çözümlerini geliştirmeli ve uygulamalıdırlar. Bu girişimlerde doğal olarak yenilenebilir ve atık enerji kaynakları karbonsuzlaştırmada en büyük rolü oynayacaktır. Yenilenebilir enerjiden sadece elektrik gücü üretilmez. Önemli bir bölüm değerlendirilmeksizin çevreye atılır. Bu atık enerji çoğu kez atık ısı biçimindedir. Nicelik bakımından ısı ve dolaylı olarak soğuk, yapılı çevrede elektrik gücünden daha fazla üretilir veya bulunur. Bu nedenle gerçek çözümlerde ısının da yeşil KYG denklemine dahil edilmesi kaçınılmaz olmaktadır. Ancak bu kapsamdaki en büyük soru, ısı ve elektriğin KYG üzerinde ve çevresinde birkaç bin kilometre boyunca taşınması zorluğu göz önüne alındığında KYG ülkelerinde bu tür girişimlerin nasıl uygulanacağı ve sürdürüleceğidir. İbrahim Kolawole Muritala, küresel birincil enerji tüketiminin %72'sinin dönüşümlerden sonra kaybolduğunu ortaya koymaktadır. Daha ayrıntılı anlatımla, küresel atık ısının %63'ü 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda olmak üzere ulaşım ve sanayiden sonra sektörde en büyük paya sahip olan elektrik üretiminden kaynaklanmaktadır (Forman vd., 2016: 1568-1579). Karbonsuzlaşmanın sürdürülebilir olma başarısı, bu ısı kaynaklarının içerdikleri enerji, niteliklerine (Ekserji) uyumlu talepler bularak veya oluşturarak uygun yöntemlerle ve en üst düzeyde değerlendirilmesi ile mümkün olacaktır.

KYG'deki enerji koridoru ülkeleri birbirine bağlayacaksa, bu tür ısı kaynaklarının da ulusötesi boyutlarda toplanması, depolanması, taşınması ve ülkeler arasında karşılıklı değişimini gerektirir.

Diğer bir deyişle, küresel boyutta en yaygın biçimde bulunan ısı kaynakları düşük entalpili (düşük sıcaklık, düşük ekserjili) yenilenebilir ve elektrik üretiminde pek kullanılamayacak 100°C'nin altındaki kaynaklardır. Öte yandan, eğer sürdürülebilir ve akılcı olarak KYG'deki enerji koridoru ülkeleri birbirine bağlayacaksa, bu tür ısı kaynaklarının da ulusötesi boyutlarda toplanması, depolanması, taşınması ve ülkeler arasında karşılıklı değişimini gerektirir. Ancak, ısının taşınımında gereken pompa istasyonlarının elektrik güç talep ekserjisi ve ısıl güç ekserjileri arasındaki farklılık nedeni ile ısı ve soğuğun hidrolik boru hatlarıyla uzun mesafelere taşınması hemen hemen imkansızdır. Güzergahlardaki termo-mekanik kayıplar, binlerce kilometreye uzayan KYG için düşük ekserjili termal gücün taşınmasını ve dağıtımını daha da imkânsız hale getirecektir. Elektrik gücünün birim ekserjisi 0,95 kW-hekserji/kW-henerji iken, bir bölgesel enerji sisteminde dağıtılan ısıl gücün birim ekserjisi

0,10'dan azdır. Söz konusu birim ekserji dengesizliği, pompalama kapasitesini önemli ölçüde sınırlamayı gerektirir (Kilkis, B., 2020c). Bu gerçeğe karşın, ekserji kavramını göz ardı ederek, Avrupa Birliği (AB) ısı pompaları ve bölgesel enerji sistemleri ile toplam 'yeşil' elektrifikasyonu planlamaktadır (EU, 2018). Böylelikle ısının dolaylı da olsa elektrikle sanal biçimde taşınarak ısı hatlarını en aza indirmeyi düşünmektedirler. Bu öngörü, yapılı çevrenin talep tarafında elektrik enerjisinin bir bölümünün tekrar ısıya veya soğuğa dönüştürülmesi aşamasındaki karbon ayakizinin çok az olacağı varsayımına dayandırılmaktadır, ki bu sanı yanlıştır. Elektrik gücünün ısıl güce dönüştürülmesinde ekserji kayıpları oluşur. Öte yandan, termodinamiğin ikinci yasasına (ekserji) göre, geleneksel HVAC (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme) taleplerini karşılayacak olan ısı pompalarının performans katsayılarının (*COP*), sırası ile ısıtmada sekizden ve soğutmada ondan büyük olması gerekir. Aksi takdirde, elektrikten ısıya dönüşümlerde talep (elektrik) ve arz (ısı) arasındaki ekserji kaybı, önlenebilir ΔCO_2 salım sorumluluklarını ortaya çıkaracaktır. Günümüzde bu kadar yüksek *COP* değerlerine ulaşmak için ısı pompaları kaskat tarzında kurulsa bile mümkün değildir (Kılkış, B., 2021a). Bu olgu bizi, özellikle ulusötesi ölçekte toplam elektrifikasyonun çevresel açıdan akılcı olup olmadığı sorusuna getiriyor. Buradan çıkarılacak tek ders, uzun mesafelere elektrik ve ısının ortak bir ortamda taşınmasının gerekli oluşudur. Bu elektrik olmayacak ise, seçenekler nelerdir?

Ulusötesi Ortak Güç ve Isı Ağlarında Elekrik mi Hidrojen mi?

Tartışma masasında geriye kalan en büyük soru, yenilenebilir ve atık enerji kaynaklarının %100 elektrik olarak taşınmasının KYG'de geçerli olup olamayacağıdır. Bu bağlamda, birbiriyle çelişen dört zorluk bulunmaktadır. Bunlar tekraren aşağıda özetlenmiştir:

Birinci Zorluk

Her şeyden önce, elektrik hatları ısıyı taşıyamaz. Bu nedenle, KYG için ikinci, hatta, üçüncü bir boru hattı (soğuk taşımak için) gerekli olacağından sadece elektriği taşımak ve yenilenebilir ve atık enerji kaynaklarını geride bırakmak daha mantıklı görünebilir. Ancak bu, yaklaşımla geride bırakılan bol miktardaki yenilenebilir enerji kaynaklarının yerel kullanımlar dışında KYG boyutundaki büyük miktarlarda israf edilmesi ve salım sorumluluklarının oluşması beklenmelidir.

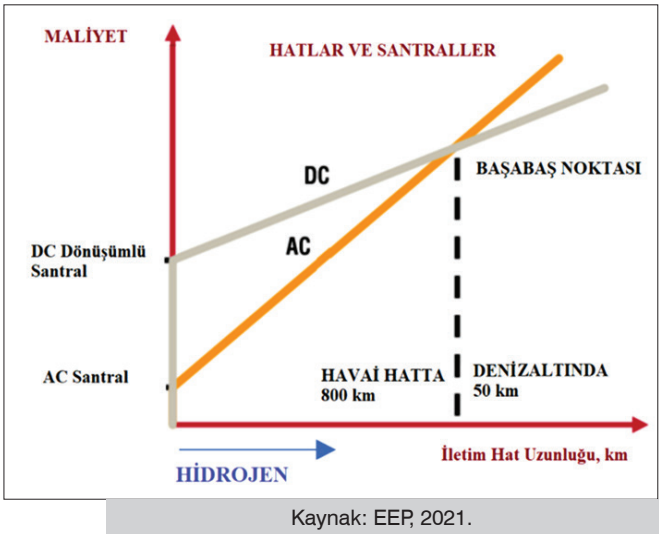
İkinci Zorluk

Küresel ölçüde, ısı ve soğuk talepleri nicelik olarak elektrik enerjisi taleplerinde daha fazla iken, minimum salımlar amaçlandığında bu kaynaklar mutlaka KYG boyutunda değerlendirilmelidir. Ancak, yenilenebilir enerjiyi depolama ve mevcut şebekelere bağlama büyük problemlerdir. Farklı ısı kaynaklarının karıştırılması ve entalpileri (sıcaklık; ekserji) açısından eşleşmesi zordur. Katma değer potansiyelleri kaybolabilir. Sonuç olarak, düşük entalpili ısı (100°C'nin altında) verimli bir şekilde elektriğe dönüştürülemediğinden, küresel olarak bol miktarda bulunan bu enerji kaynakları kaynak tarafında kullanılmaksızın çevreye atılarak israf edilecek ve böylece küresel ısınmada giderek artmaya devam edecektir. Bunların ekonomik olumsuzlukları da küçümsenemeyecek boyutlardadır. Çok düşük entalpili ısı kaynakları için, bir seçenek, ısı sıcaklığını Lejyonella riskini azaltma düzeyi olan 65°C'nin üzerine çıkarabilen absorpsiyon teknolojisini kullanan konut tipi su ısıtıcıları olabilir. Ancak, yüksek bir başlangıç maliyeti ve soğutucu akışkanlarla ilgili sorunlar olabilmektedir.

Üçüncü Zorluk

COP değerleri ısıtma için sekizden ve soğutma için ondan daha düşük olan elektrikle çalışan ısı pompalarıyla talep tarafındaki elektriği tekrar sıcak ve soğuğa dönüştürmek, zararlı salım sorumlulukları anlamına gelir. Bu nedenle, güçten-ısıya sistemleri ile talep tarafında elektrik tüketerek ısıtma ve soğutma gerçekleştirmek ısı pompalarının *COP* değerlerinin eşik değerlerin (sekiz ve on) üzerine çıkarılması için maliyetli ve zaman alıcı iyileştirmeler yapılmadıkça ve yeni iletim hatları kurulmadıkça mevcut şebekelere aşırı yük bindirecektir. Bu eylemler, mevcut AC (Alternatif Akım) şebekelerinin çoğunun değiştirilmesi/güçlendirilmesi/eklenmesi gerektiği anlamına gelir. Ancak HVDC (Yüksek Gerilim Doğru Akım) gücü, yenilenebilir enerjiler (rüzgâr ve güneş) zaten DC (Doğru Akım) gücü ürettiği için mantıklıdır. Bu kolaylık, AC'den DC'ye ve DC'den AC'ye evirici gereksinimlerini ortadan kaldırmakla birlikte, diğer bir maliyetli konu tüm yapılı çevredeki cihazların DC sisteme dönüştürülmesi gereğidir. AB yol haritasında toplam elektrifikasyonu öngören yetkililerden en az %80'inin bir elektrik enerjisi şirketine sahip olduğu gözden kaçırılmamalıdır (Avrupa Teknoloji ve Yenilik Platformu-ETIP, Yenilenebilir Isıtma ve Soğutma-RHC Toplantısı 2019 Helsinki toplantısındaki özel görüşmeler). Ancak yakın tarihli bir çalışma, HVDC'nin mevcut AC şebeke hatlarını kullanmanın en ucuz ve en kolay yolu olduğu öne sürülmüştür (EEP, 2021). Hollanda bu tür öncü ülkelerden biridir (IEC, 2022). Kimyasal bir element olarak hidrojen ise, elektrik gibi olmadığı ve herhangi bir mesafe başa baş noktasına tabi olmadığı için AC-DC gibi birtakım dönüşümlerine de gerek kalmaz (EEP, 2021). Hidrojen prensip olarak herhangi bir uzun mesafeye hidrojen olarak taşınabilir.

Şekil 1· Hidrojen ve Elektriğin Taşınması



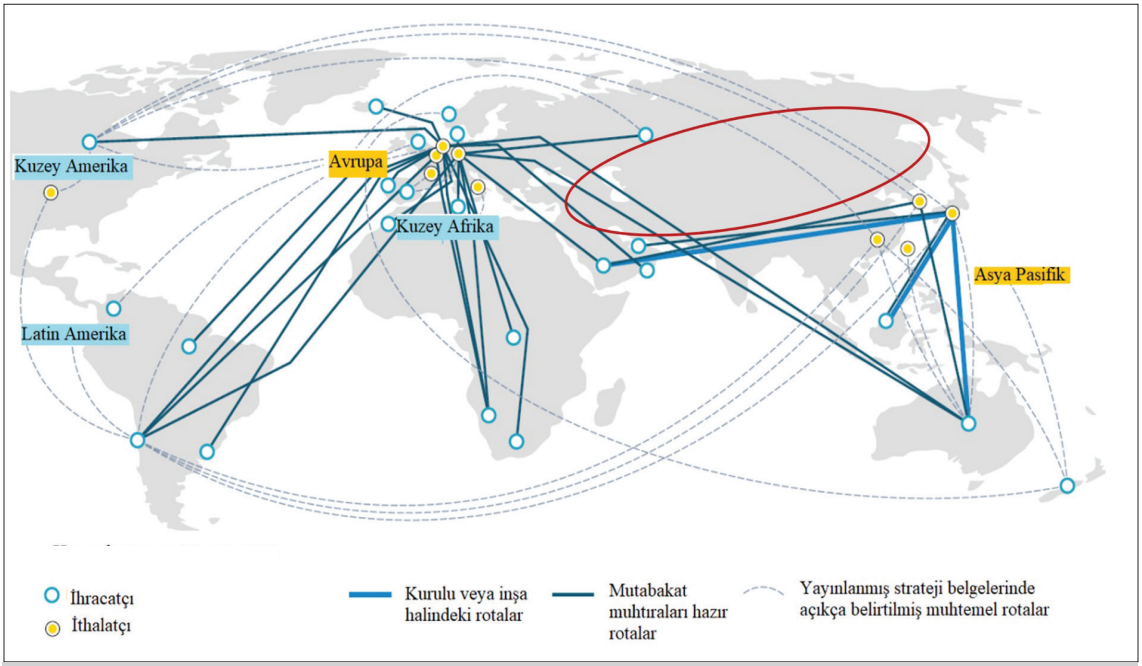
Kaynak: EEP, 2021.

Dördüncü Zorluk

Elektriğin bir kısmını tekrar sıcağa veya soğuğa dönüştürmek yerine, yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik, aydınlatma, toplu taşıma, endüstri vb. gibi ve başka seçeneği pek bulunmayan sektörlerde ve daha çevre-akılcı uygulamalarda kullanılmalıdır. Diğer bir deyişle, elektrik, elektrik olarak değerlendirilmelidir. Bununla birlikte, teknolojiye, arz-talep dengelerine, nüfus profiline, iklime, yenilenebilir enerjinin mevcudiyetine bağlı olarak toplam elektrifikasyona karşın hidrojen ağlarının gelişiminde bir ortak paylaşım mümkündür ve en uygun paylaşım oranının hesaplanması gerekir. Dolayısı ile, her ülke ve bölgeye özgü çözümlemeler kaçınılmazdır. Ancak, sonuç ne olursa olsun, AB'nin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla 'toplam' elektrifikasyon hedefi, asla gerçekleşmeyecek bir rüyadır, zira en uygun paylaşım %100 elektrik değildir.

Bu makalenin gösterdiği gibi, hidrojen, bazı önlemlerin alınması ve sürdürülmesi koşuluyla, enerjiyi türü değiştirilmeksizin (hidrojen, hidrojen olarak) depolanması ve uzun mesafelere taşınmasının en akılcı yolu olarak gözükmektedir. Ancak, hidrojen,

Şekil 2. Küresel Hidrojen Ticaret Ağları

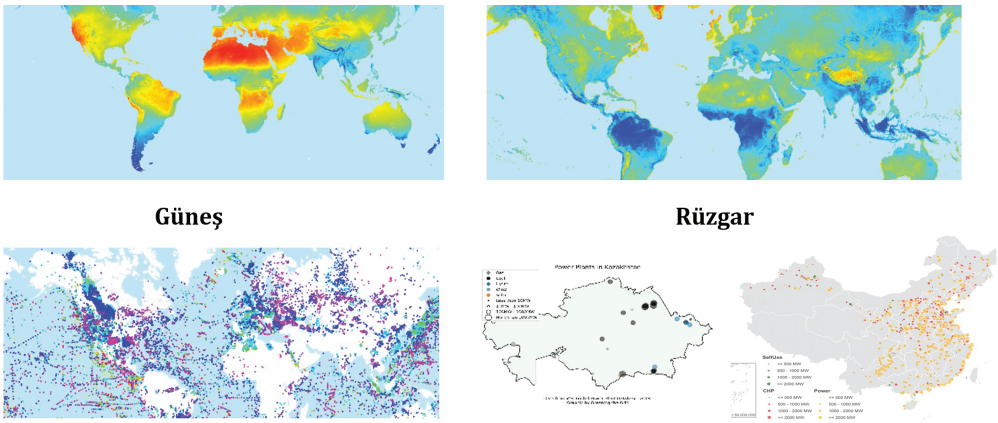


Kaynak: IRENA, 2022.

uzun mesafelerde sızıntı yönetimi gerektirir ve küçük ama sıfır olmayan küresel ısınma potansiyeline (*GWP*) sahiptir, yanıcılığı da dikkate alınmalıdır. Ayrıca, sıvılaştırma veya hidrojenin sıkıştırılması yoluyla taşınması enerji yoğun işlemlerdir ve bunların da optimize edilmiş tasarımlara sahip yeşil sistemlerden sağlanması gerekir. Günümüzde ise, KYG rotasındaki kıtalar arasında büyük bir taşınım ve dağıtım boşluğu bulunmaktadır. Şekil 2, KYG'nin enerji geçiş haritasında büyük bir boşluğun bulunduğu ve henüz bir hidrojen ticaret yolunun oluşturulmadığını göstermektedir (Kırmızı elips). Halbuki, dünyanın diğer bölgelerinde hidrojen ağları sürekli genişlemektedir. Bu boşluk aslında hidrojen ağlarına yönelim için önemli bir fırsattır.

Hidrojen ağlarında tıpkı elektrikte olduğu gibi tek bir hat -hidrojen hattı-bulunur. Ama çok önemli bir fark olarak hidrojen hattında elektrik ve ısının her türü bir arada kimyasal ortamda taşınır ve depolanır. Talep türlerine, nitelik ve niceliklerine göre ayrı talep noktalarında ve zamanlarda ayrı ayrı elektriğe, ısıya, soğuğa, mekanik enerjiye dönüştürülür. Böylelikle, herhangi bir dinamik oranda, yüksek verimlilikle yararlı iş potansiyeli en üst düzeyde oranda korunur, hatta bazılarının yararlı iş potansiyelleri artabilir. Bu rota kolektif çiftlikleri ve şehirleri tek bir ana hidrojen boru hattı üzerinde uzun mesafeler boyunca birbirine bağlayabilir. Böyle bir enerji açığı koridoru gereksinimi KYG için bir tesadüften çok fırsat değerindedir. Yenilenebilir enerji kaynakları açısından nispeten zengin olmasına rağmen, mevcut elektrik üretim ve iletim sistemleri zayıftır. Zaten Şekil 2'de görüldüğü gibi boş bir enerji koridoru bulunmaktadır ve KYG için bir enerji koridoru kaçınılmazdır. Halen yaygın olarak kullanılan kömür, kok kömür baca gazını yakalayıp biyogaz ve hidrojenle karıştırarak halen yaygın biçimdeki termik santraller de daha yeşil hale getirilebilir. Kok kömürü baca gazı, %55 hidrojen içeriği ve %27 (kok fırını gazı) oranındaki metan içeriği yönleri ile oldukça

Şekil 3. KYG'de Yenilenebilir Enerji ve Atık Isı Kaynakları

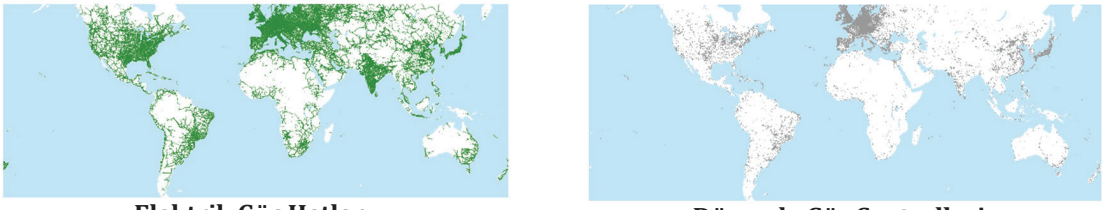


Kaynak: IRENA, 2022.

değerli enerji kaynağıdır (İlbaş, 2017). Bu nedenle, baca gazının ısısını geri kazanmak yerine, hidrojen ile kolayca karıştırılabilen bir yakıt karışımı olarak kullanılması daha verimli ve etkilidir. Böylelikle baca gazları da bacadan atılmamış olacaktır. Kömür santrallerinin baca gazları nemli hava ile karşılaştıklarında nükleer saçınım oluşmaktadır. Kok fırını gazının alt ısıl değeri (LHV) 3,678 kcal/m3 iken hidrojenin LHV değeri 2,583 kcal/m3'tür. Biyogazın LHV değeri ise yaklaşık 3,800 kcal/m3'tür. Hidrojen en düşük LHV değerine sahip gözükse de bunun nedeni yoğunluğunun en düşük olmasıdır. Baca gazının hidrojen ve biyogazla uygun oranlarda karışımı KY rotasının Doğu Çin'deki başlangıç noktasında ve o yörede yoğun olarak kömüre dayalı sanayi ve termik santrallerle örtüşecektir (bkz. Şekil 3). Bu tür bir karışım KYG boyunca da yerel biyogaz ve diğer kok/kömür gazı kaynakları ile de gerçekleştirilebilir. Ayrıca, kömür, kömür-su bulamacında boru hatlarında taşınabilir, ancak su harcaması, sudaki kalite bozulması ve ilgili çevresel kaygılar göz önünde tutulmalıdır. Pompalama için talep edilecek ekserji (elektrik) de en düşük salım sorumluluğu için optimize edilmelidir. Süper iletkenliğin ortaya çıkmasıyla, kriyojenik hidrojenin -yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi koşulu ile- şu an sanayide kullanılmakta olan daha değerli helyum gazının yerini alabilir.

KYG ülkeleri, yenilenebilir enerji kaynakları yönünden zengin sayılabilse de (Şekil 3), güç üretimi ve iletiminde yeterli altyapıya sahip olduğu söylenemez (Şekil 4). Jeotermal sahalardan ve fosil yakıtlı enerji

Şekil 4. Dünyada Elektrik Güç Hatları ve Güç Üretim Tesislerinin Dağılımı



Kaynak: IRENA, 2022.

Şekil 5. KYG Boyunca Ana Yerleşim Alanları

Kaynak: ALEPH, 2020.

santrallerinden kaynaklanan atık ısılar dışında kesintili özelliğe sahip yenilenebilir enerji kaynaklarının ulusötesi ölçeklerde kümelenmesi ve gruplandırılmaları günümüzde hala çözüm bekleyen karmaşık sorunlardır. KYG boyunca da böyle bir altyapı yoktur. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirildiği ve desteklendiği tesisler de çok azdır. Bu nedenlerle, üretilen elektrik, ısı ve soğuğun enerji arzında sürekliliği ve güvenirliği teminen depolanmaları gereklidir. Ancak ısı depolamasının daha basit ve ucuz olmasına karşın, elektrik enerjisinin bataryalarda depolanması pahalı ve çevresel açıdan maliyetli olmayı sürdürmektedir. Hidrojen, doğası gereği, son kullanımdan önceki aşamalarda enerji dönüşümü gerektirmeyen daha uygun bir enerji depolama ortamıdır. Hidrojen, hidrojen olarak depolanır. Talep noktalarında ise enerji kırılımının anlık profiline göre her bir talep türü anında çok fazla enerji depolamasına gerek kalmadan karşılanabilir. Sonuç olarak, KYG'nin enerji koridorunda şu an eksik olan, tüm enerji türlerini birleştirecek türdeki bir ortak bağdır ve bu eksikliği akılcı bir biçimde birleştirecek olanın hidrojen olduğu anlaşılmaktadır.

Hidrojene dayalı bir KYG çözümü, Şekil 4'te görülen güç hatlarındaki boşluğu sadece güç değil fakat tüm ısı ve soğuk kaynaklarını da tek bir hat üzerinde, tek bir ortamda toplayarak enerji türlerinin ayrı ayrı kümelenme ve gruplandırılmasına, talep noktalarında tekrar ayrı ayrı depolanmalarına fazla gerek olmaksızın, doldurabilecektir. Zaten birçok büyük yerleşim bölgeleri böylesi bir ana arter üzerinde veya yakınında bulunmaktadır (Şekil 5). Bu nedenle, enerjinin tüm türlerinin bu kentler arasında tek bir hat üzerinden alışverişinde kolaylık sağlayacak ve kentlerin enerji eşgüdümünü ve müşterekliğini sağlayacaktır. Ana hidrojen hattının ulusötesi demiryollarına paralel biçimde ve çok yakınında tesisi de birçok yönden yararlı olacaktır (Şekil 6). Demiryolunu takiben Hazar denizi altından geçecek bir hidrojen hattına zengin Azerbaycan doğalgazının da karıştırılması ile yol üzerindeki mevcut doğalgaz boru hatlarının da kullanımı mümkündür. Bu hatta Karadeniz H_2S gazından yeşil hidrojen eldesi projesi de entegre edilebilecektir.

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sorunları

Her ne kadar yenilenebilir enerji kaynakları yeşil KYG ögörüsünün belkemiğini oluşturuyor ise de

Şekil 6. KYG Demiryolu

Kaynak: Uysal, 2019.

tekil güneş ve rüzgâr enerjisi uygulamalarının sorunları şu şekilde özetlenebilir:

PV (Foto-voltaik) gibi güneşten güç üreten sistemlerde her zaman atık ısı oluşmaktadır. Bu sistemler soğurdukları güneş enerjisini ortalama yüzde yirmi verimle elektrik gücüne evirir, geri kalan enerji ise ısı olarak atmosfere geri döner. Değerlendirilmeyen bu ısı özellikle yoğun yerleşim bölgelerinde yerel ısı adacıklarına da neden olur. Aynı durum özellikle büyük rüzgâr türbinlerinin kule üzeri elektro-mekanik tesisat odacığı için de geçerlidir. Sıcak su üreten düzlemsel toplaçlar (FPC: flat-plate collector) ise sadece ısı üretir ve aynı güneşlenme alanındaki elektrik gücü üretim potansiyelini ziyan eder. Bu nedenle bazı özel durumlar dışında, çok az katma değer (Sadece ısıl ekserji) üretebilen düzlemsel toplaçların kullanımından vazgeçilmelidir. PV ve FPC sistemlerinin yerine aynı güneşlenme alanından hem elektrik hem ısı üreten foto-voltaik-ısı (PVT) panelleri tercih edilmelidir. Bu suretle sıcaklıkla azalan PV verimleri de korunmuş olur. Aksi durumda kentleşmenin arazi kullanım verimi de düşecektir (Land use efficiency, *LUE*). Örneğin, Şekil 7'de tek bir uzun direk üzerinde tekil bir rüzgâr türbini ve araziyi işgal eden tekil PV panelleri görülmektedir. Bu sistemlerin ısıları değerlendirilmediği gibi gereksiz arazi işgalinde bulunulmaktadır. Hâlbuki boş duran türbin direğine PV paneller yerleştirilebilir hem de güneşi takip yeteneği oluşabilirdi (İleriki bölümler, Şekil 16).

Şekil 7. Tekil Rüzgâr Türbini ve Arazide Tekil PV Panellerin Arazi İsrafı

Kaynak: Freepik, t.y.

Santral ve Şehir Atık Isılarının Sorunları

Güneş enerjisi sistemleri, rüzgâr türbinleri ve jeotermal santrallerden elde edilen ve halen değerlendirilmeyen atık ısıların yanında, termik santrallerin soğutma kulelerinden atmosfere önemli ölçüde ısı kayıpları olduğu gibi soğutma kulelerinde su tüketilerek atmosfere su buharı salınmaktadır. Su buharının da en az karbondioksit kadar sera gazı etkisi bulunmaktadır. Kentlerin atık suları da düşük sıcaklıkta ısı içerir. Bunlar önemli

enerji kaynaklarıdır, ancak pompa motorları ve ısı eşanjörleri gibi elektro-mekanik sistemlerin talep edecekleri güç ekserjisi ile elde edilecek düşük sıcaklıktaki ısıl güç ekserjisi dikkatlice karşılaştırılmalıdır. Örneğin, fan motorunun talep edeceği elektrik ekserjisi kömürle çalışan bir elektrik santralinin baca gazından kazanılabilecek atık ısı ekserjisini aşmamalıdır (Kılkış, B., 2019b). Biyogaz kullanan birleşik ısı ve güç sistemleri de maksimum ekserji, elektrik, ısı ve soğuğun toplamını sağlayacak şekilde dikkatlice tasarlanmalı ve çalıştırılmalıdır (Kilkis, B., & Kilkis, S., 2007).

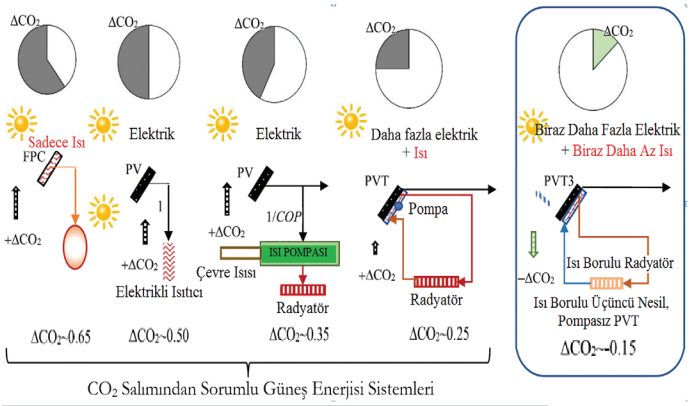
Güneş Enerjisi

Şekil 8'de PV panellerin bile aslında değerlendirilmeyen atık ısısı olduğu betimlenmektedir. Bu ısı değerlendirilmeyince başka birileri, başka yerde, başka zaman diliminde, muhtemelen bir miktar fosil yakıt tüketerek (örneğin bir kazan kullanarak), bu kaybedilen ısıyı kullanmak dururken yeniden aynı ısıyı tekrardan üretmek durumunda kalacaktır. Bu ise dolaylı da olsa PV panelin bir karbondioksit salımından sorumlu olduğu gerçeğini gözler önüne sermektedir (ΔCO_2). Şekil 8'de örnek bir PV panelin elektrik ürettiği için en az karbon stokundan çektiği CO_2 kadar kendisinin ΔCO_2 sorumluluğu olduğu görülmektedir ve sonuç itibarı ile bu PV panel aslında çevreye net bir katkı sunmamaktadır. Düzlemsel toplaç ise karbon stokundan çektiği salımdan daha fazlasından sorumludur. Isıtma Tesir Katsayıları (*COP*) sekiz değerini aşmadıkça ısı pompalarının kullanımı da çözüm getirmemektedir.

Rüzgâr Enerjisi

Çin'in kuzey eyaletlerinin sahip olduğu soğuk iklimlerde rüzgâr enerjisinden elde edilen elektrik gücü ile bina ısıtmasının elektrik dirençleri kullanılarak gerçekleştirilmesi, bu suretle de sobalarda kömür ve

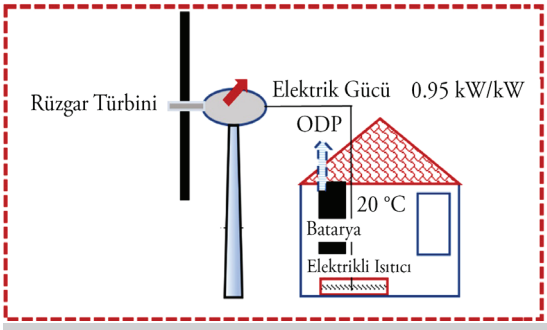
Şekil 8. Farklı Güneş Enerji Sistemleri



Kaynak: Kilkis, B., 2022b.

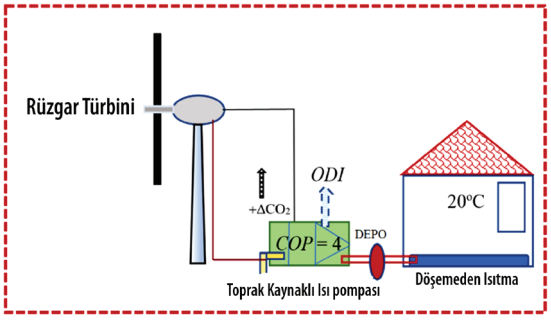
linyitin yakılmasının önüne geçilmesi yetkililerce düşünülmektedir (Şekil 9). Bu seçenek kullanılacak olursa sonuç çevresel açıdan hayal kırıklığı, daha doğrusu çevre için bir felaket olacaktır. Konfor için elektrik ve elektrikli ısıtma arasındaki ekserji farkı yaklaşık 0,90 kW-hekserji/kW-henerji dir ve CO_2 salım sorumluluğu açısından neredeyse bir kömür sobasına eşittir (Kılkış, B., 2021a). Ek olarak, herhangi bir elektrik bataryası kullanıldığında ozon tabakasının seyreltim potansiyelinden (*ODP*) sorumlu olunacaktır (Kılkış, B., 2019a). Şekil 10, ısıtma için ısı üretmek üzere rüzgâr gücünün bir kısmını kullanmak üzere bir ısı pompası kullanarak belirli bir gelişmeye işaret etmekle birlikte bu seçenek ancak *COP* değerinin aşırı bir maliyet artışı ile sekizi aştığında başarılı

Şekil 9. Bir Çin Evinin Rüzgâr Enerjisi ile Doğrudan Isıtması



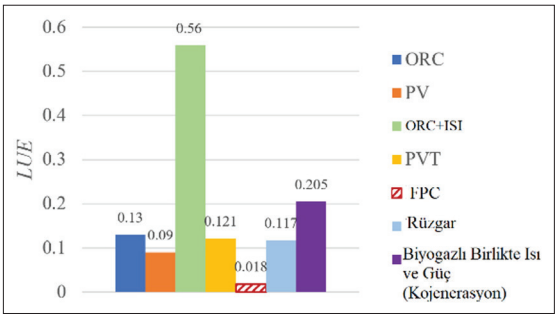
Kaynak: Kılkış, B., 2021c.

Şekil 10. Rüzgâr Enerjili Isı Pompası ile Isıtma ve Soğutma



Kaynak: Kılkış, B., 2021c.

Şekil 12. Değişik Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Arazi Kullanım Etkinliği



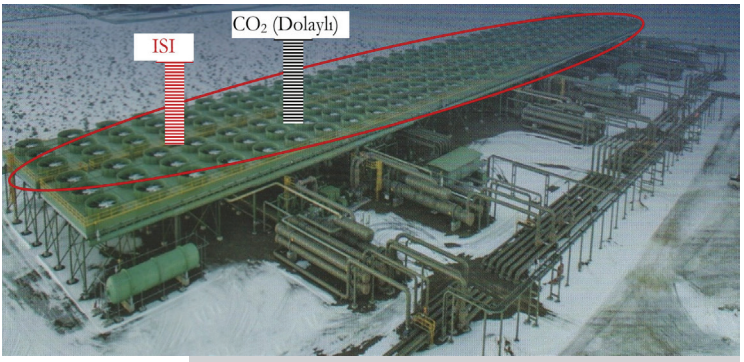
Kaynak: Kılkış, B., 2021c.

olur. Aksi takdirde, bir rüzgâr türbininin bir ısı pompası ile bağlantısı karbonsuz değildir. Ek olarak, soğutucu akışkan sızıntısı, *ODP* ve küresel ısınma potansiyelinin (*GWP*) bir kombinasyonu olan ozon tabakasını inceltme indeksi ODI söz konusu olacaktır.

Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji rezervlerinin yaklaşık %80'i 100°C'ye yakın veya oldukça altında olup, sadece organik Rankin çevrimleri (ORC) ile olmak koşulu ile çok az bir elektrik güç üretim marjı bırakmaktadır. Şekil 11, tesisin kendisinden çok daha fazla yer kaplayan çok sayıdaki ve elektrik enerjisi tüketen kuru soğutma fan sistemini göstermektedir. Fanlar üretilen elektrikten çok daha fazla ısıyı atmosfere atar. Tüketilen elektrik yeşil bile olsa ısının atılması yerine yararlı ve katma değer üreten başka uygulamalarda değerlendirilmediği ve termik santrallerin yükü azaltılmadığı için CO_2 salım sorumluluğu büyüktür. Ayrıca arazi kullanımında fan seti ORC santralinin neredeyse beş katı fazla arazi işgal etmektedir. Atık ısının değerlendirilmesi ile fanlar ve elektrik tüketimi büyük ölçüde ortadan kalkabilmektedir.

Şekil 11. Organik Rankin Çevrimi ile Jeotermal Enerjiden Sadece Güç Üretimi, Atılan Isı, CO_2 Salım Sorumluluğu ve Aşırı Arazi Kullanımı (*LUE*).

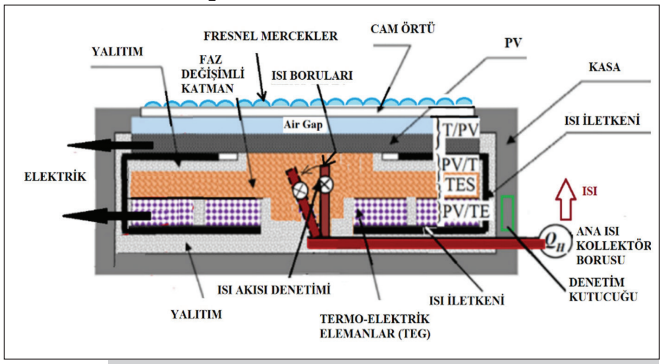


Kaynak: Jesdergi, 2022.

Çözümler

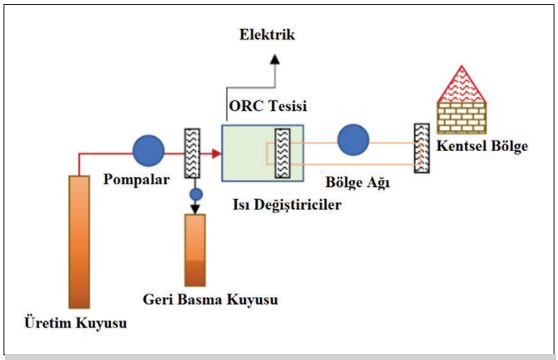
Görüldüğü üzere, yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde yeni teknolojilere ve enerjinin niteliğini de önemseyen hatta en ön planda tutan bir akla gerek vardır. Bu bağlamda, KYG'nin başarısı ve oluşturacağı yeni fırsatlar sadece hidrojen ekonomisine dayalı değildir. Asıl başarı, hidrojen kuşak yolunun yeni teknolojiler, ülkeler arası AR-Ge ve ÜR-GE iş birlikleri, yeni iş imkanları ve daha iyi bir ortak ekonominin tesisi ile taçlandıracaktır.

Şekil 13. Yeni Nesil, Yüksek Verimli ve En Düşük ΔCO_2 Sorumluluğu Bulunan PVT3 Sistemi



Kaynak: Kılkış, B., 2020d.

Şekil 15. Jeotermal Enerjiden Bölge Isıtması Sistemi

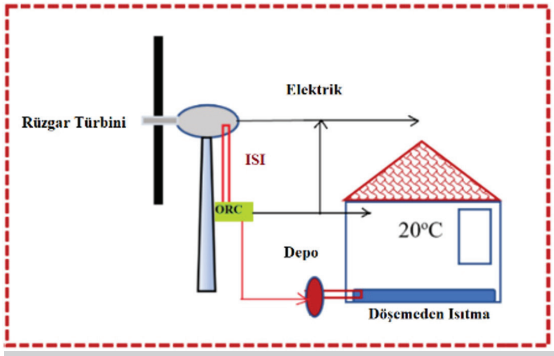


Kaynak: Kılkış, B., 2020.

Güneş

Şekil 13'te, Şekil 1'de sözü edilen yeni nesil PVT3 sistemi görülmektedir. Sadece bu tür bir sistem eksi karbon niteliği taşıyabilmektedir.

Şekil 14. Yaklaşık Sıfır-Karbon Birlikte Isı ve Güç Rüzgâr Türbini



Kaynak: Kılkış, B., 2020b.

Rüzgâr

1 MW-elektrik kurulu güce kadar olan orta ölçekli rüzgâr türbinlerinde kule atık ısısı bir ORC türbininde ek elektrik gücüne dönüştürülebilir.

Jeotermal

Düşük entalpili bir jeotermal kuyudan gerçekleştirilebilecek bir bölge ısıtması Şekil 15'de betimlenmiştir. Sıcaklık piklemesi için ısı pompası kullanılmamakta, buna karşın 35°C' a kadar düşük sıcaklıklarda çalışabilen ısı borulu radyatörler veya döşemeden ısıtma sistemleri kullanılmaktadır.

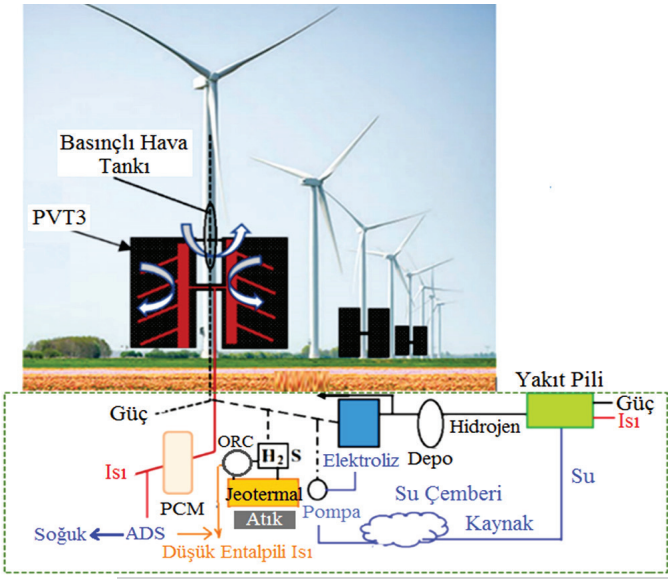
Talep Tarafındaki Cihazlar

Düşük entalpili bölge enerji sistemlerinin en büyük sorunu arz tarafı ile ısıtma taleplerinin karşılanmasında kullanılan mevcut ısıtıcı cihazlar arasındaki sıcaklık dengesizliğidir. Çözüm, KYG'de düşük entalpili cihazların geliştirilmesine yönelik teknik, sınai ve akademi iş birlikleri ortak katma değerlere olanak sağlayacaktır (Kılkış, B., Çağlar, & Şengül, 2021).

Kompozit Yenilenebilir Enerji Sistemleri

Tekil sistemler yerine *LUE* değerini de olumlu yönde etkileyen melez yenilenebilir enerji sistemleri yeraltını ve yerüstünü de birleştirir şekilde uygulandığında aynı zamanda hidrojen ekonomisine de büyük ölçüde katkı sağlayabilecektir. Bu tür bir uygulama Şekil 16'da gösterilmiştir. Görüldüğü üzere tarımsal araziden büyük ölçüde tasarruf edilmektedir.

Şekil 16· Yeraltı ve Yerüstü Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Tümleştiren Kompozit Yenilenebilir Enerji Sistemleri



Kaynak: Kilkis, B., 2022a.

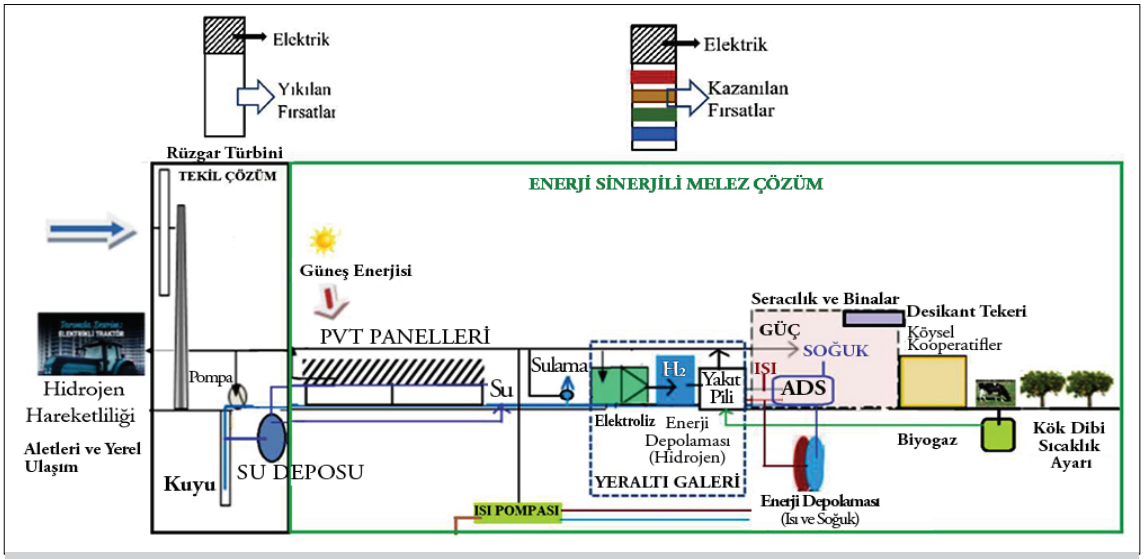
Enerji, Su, Gıda, Tarım, Kentleşme ve Ekonomi Bağı: Bir Örnek

Ufak bir tarımsal kooperatif ve yerleşim melez planı Şekil 17'de gösterilmektedir. Bu örnekte sulama, yeşil enerjili DC akımlı motorlarla tahrik edilen kuyu pompaları ile gerçekleştirilmektedir (Kılkış, B., 2020a). Sistemde kapalı su devreli hidrojen sistemi, ısı pompaları hidrojen depolama, absorpsyonlu soğutma, yeşil seracılık, gıda kurutması gibi ufak tarımsal endüstri, paketleme, hidrojenli tarımsal mekanizasyon ve yerel hareketlilik gibi yenilikçi sistemlerin bir sentezi bulunmaktadır.

Sonuç

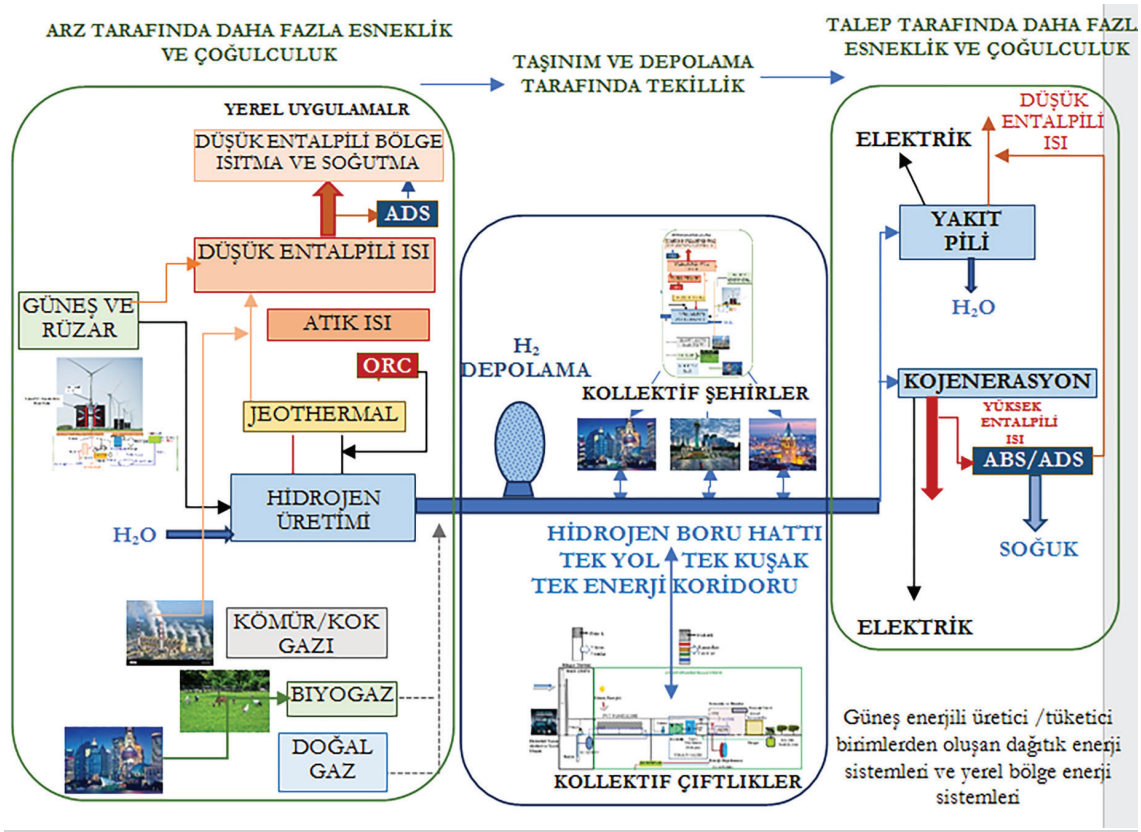
Hidrojen, yenilenebilir ve atık enerji kaynaklarından yararlanmak, depolamak ve ulusötesi ölçekte taşımak ve KYG ana koridorunu oluşturarak büyük şehirler, çiftlikler ve köylerle aynı şekildeki kompozit sistemlerle paylaşmak için en iyi seçenek olarak gözükmektedir. Bu çözümün anahtarı Şekil 18'de gösterilmektedir. Bu yenilik, önce tüm enerji türlerini hidrojen ortamına sıkıştırılmasını, bunların hidrojen ile taşınmasını ve ardından hidrojenin anlık taleplere bağlı olarak tekrar farklı enerji türlerine

Şekil 17· Yeşil Hidrojen Esaslı Kolektif Çiftlik Modeli



Kaynak: Kılkış, B., 2020a.

Şekil 18. KYG'de Olası Nihai Çözüm: Tek Bir Yeşil Enerji Buluşmasında Tek Kuşak, Tek Enerji Koridoru



Kaynak: Kılkış, B., 2022.

açılımını içermektedir. Hidrojen rotasında, şehirler, çiftlikler ve endüstri, küçük ölçekli hidrojen ekonomilerinde benzer şekilde enerji alışverişinde bulunur. Böyle bir yöntemin ön koşulu, yenilenebilir enerji sistemleri ile ilgili yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi ve bol ve atık enerji kaynaklarının ve çevresel enerji kaynaklarının da değerlendirilmesidir. Tek bir enerji taşıma ortamına indirgenen tüm enerji kaynakları daha fazla çeşitlilik ve esneklik sağlayabilir. Doğalgaz, kömür baca gazı (bunları yaklaşık olarak 1 ila üç oranında değiştirebilir) ve biyogaz da hidrojen ortamında karıştırılabilir. Şekil 18 aynı zamanda Paris anlaşması hedeflerine zamanında ulaşabilmenin anahtarını KYG örneğinde vermektedir (Vivid, 2019). Aslında Asya kıtasını kateden bir doğalgaz hattı bulunmaktadır. Bu mevcut hat da akış ters yöne çevrilerek ve az bir uyarlama ile kullanılabilinir (Şekil 19).

Şekil 19. Küresel Ölçekte Doğalgaz Boru Hatları

Kaynak: IRENA, 2022.

Teşekkür

IPCC'nin başyazarı Doç. Dr. Şiir Kılkış, bu makalenin yazımı için oldukça değerli materyal ve bilgi sağlamıştır. Derin kavrayışı, eşsiz katkısı ve özverili desteğine teşekkür ederim.

Kaynakça

ALEPH. (2020). Belt and Road Initiative: the World's Largest Infrastructure Investment. https://www.alephas.org/2020/11/11/belt-and-road-initiative-the-worlds-largest-infrastructure-investment/ adresinden alındı.

EEP. (2014). Analysing the Costs of High Voltage Direct Current (HVDC) Transmission. https://electrical-engineering-portal.com/analysing-the-costs-of-high-voltage-direct-current-hvdc-transmission adresinden alındı.

EU. (2018). Heat Roadmap Europe, Quantifying the Impact of Low-carbon Heating and Cooling Roadmaps Deliverable 6.4, 822 sayfa. https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5be2fd8fb&appId=PPGMS adresinden alındı.

Forman, C., Muritala, I. K., Pardemann, R., & Meyer, B. (2016). Estimating the global waste heat potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 1568-1579. DOI:10.1016/j.rser.2015.12.192

IEC. (2021). Back to the future: DC public grids again!, IEC Academy Webinar. https://www.iec.ch/blog/back-future-dc-public-grids-again adresinden alındı.

IPCC. (2022). Climate Change 2022, Mitigation of Climate Change, Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for Policymakers, IPCC AR6 WG III. https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf adresinden alındı.

IRENA. (2022). Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor. I*nternational Renewable Energy Agency*, Abu Dhabi. ISBN: 978-92-9260-370-0 https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jan/IRENA_Geopolitics_Hydrogen_2022.pdf adresinden alındı.

İlbaş, M. (2017). The Use of Coal Gases as an Alternative Fuel for Energy Supply. *Energy Policy Turkey*, (3), 58-63.Jesdergi, 2022. Daha Fazla Jeotermal Deneyim Paylaşımı. 17, 50-51.

Kılkış, B. (2019a, September). The Importance of Exergy Rationality and Storage For 100% Renewable Targets in Decoupling Sustainable Development and Ozone Depletion. In UNIDO Workshop, September (pp. 16-17).

Kılkış, B. (2020a, Haziran). *Tarım sigortalarında doğal afetler iklimsel ısınma ve enerji sinerjisi.* (Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı'na Sunulan Rapor), 16.

Kılkış, B. (2021a). Rational Utilization of Wind Energy for Heating Purposes In Cold Climates In China. *BRIQ Working Paper Series*, KUYÇAM, İstinye University.

Kılkış, B., Çağlar, M., & Şengül, M. (2021). Energy Benefits of Heat Pipe Technology for Achieving 100% Renewable Heating and Cooling for Fifth-Generation, Low-Temperature District Heating Systems. *Energies*, 14(17), 5398.

Kılkış, Ş. (2012). Green Cities and Compound Metrics Using Exergy Analysis. In Encyclopedia of Energy Engineering and Technology. Taylor and Francis: New York, Published online: 23 July 2012; 1-7. http://dx.doi.org/10.1081/E-EEE-120047398

Kılkış, Ş. (2014). Energy System Analysis Of A Pilot Net-Zero Exergy District. *Energy Conversion and Management,* 87, 1077-1092. http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.05.014

Kilkis, B. (2019b). Development of an Exergy-Rational Method and Optimum Control Algorithm for the Best Utilization of the Flue Gas Heat in Coal-Fired Power Plant Stacks. *Energies*, 12(4), 760. https://doi.org/10.3390/en12040760

Kilkis, B. (2020b). Accelerating the transition to 100% renewable era. But how? Exergy rationality in the built environment. In *Accelerating the Transition to a 100% Renewable Energy Era* (pp. 1-49). Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-030-40738-4

Kilkis, B. (2020c). An Exergy-Rational District Energy Model For 100% Renewable Cities With Distance Limitations. *Thermal Science*, 24(6 Part A), 3685-3705.

Kilkis, B. (2020d). Development of a composite PVT panel with PCM embodiment, TEG modules, flat-plate solar collector, and thermally pulsing heat pipes. *Solar Energy*, 200, 89-107.

Kilkis, B. (2021b). An Exergy-Based Model for Low-Temperature District Heating Systems for Minimum Carbon Footprint with Optimum Equipment Oversizing and Temperature Peaking Mix. *Energy*, 236, 121339.

Kilkis, B. (2021c). Cogeneration Towards Paris Agreement But How? Highlights For WP3, Exergy Based Model 3, Minimum Emissions Responsibility Against Climate Crisis, Geotermica, Accelerating the Heating and Cooling Transition, Geotermica & JPP SES 2021, Project Proposal, Report (co-author).

Kilkis, B. (2022a). Lessons Learned from Labyrinth Type of Air Preconditioning in Exergy-Aware Solar Greenhouses, Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environmental Systems.

Kilkis, B. (2022b). Net-Zero Buildings, What are They and What They Should Be, Energy, EGY-D-21 10639R1 (In print).

Kilkis, B., & Kilkis, S. (2007). Comparison of Poly-generation Systems for Energy Savings, Exergetic Performance, and Harmful Emissions. *Proceedings of ES2007, Energy Sustainability, Paper No: ES, 36262*, 27-30. Long Beach, California

Kilkis, S. (2022). All Cities Can Contribute Towards a Net Zero Future, Twitter Media Studio. https://twitter.com/IPCC_CH/status/1514959224333225996 adresinden alındı.

Uysal, O. (2019) 10 countries, 11500 km: China train at Turkey. https://railturkey.org/2019/11/06/10-countries-11000-km-china-train-at-turkey/ adresinden alındı.

Vivid. (2019). Decarbonizing the Belt and Road-A Green Finance Roadmap, Executive Summary, 8 sayfa. https://www.vivideconomics.com/wp-content/uploads/2019/09/BRI_Exec_Summary_v13-screen_hi.pdf adresinden alındı.

Sesli
e-Aydınlık
yenilendi

İstediğiniz haberin ve köşe yazısının seslendirmesine bir tıkla geçiş yapabilirsiniz.

BÜYÜK İNDİRİM

Yıllık abone olun, getireceğiniz yeni yıllık abone % 50 indirim kazansın.

Google Play ve App Store'dan güncelleyebilirsiniz.

HEMEN İNDİRİN App Store

HEMEN İNDİRİN Google Play

Aydınlık e-gazete

0 533 495 84 19
egazete.aydinlik.com.tr

Türkiye'nin Enerji, Su ve İklim Değişikliği Sorunları İçin Kesin Çözüm: Hidrojen Yakıtı

İ. ENGİN TÜRE
Prof.Dr.

1969 yılında Ankara Üniversitesi Fizik Yüksek Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Türkiye Atom Enerjisinde 1977 senesine kadar uzman araştırmacı olarak çalıştı. 1980-1984 yılları arasında İngiltere'de Durham Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışırken doktorasını tamamladı ve aynı üniversitede bir yıl, daha sonra Londra'da General Electric şirketinde dört yıl ve Manchester UMIST'de bir buçuk yıl çalıştı. 1990 senesinde yurda döndükten sonra aynı yıl doçentlik unvanını aldı ve Gaziantep Üniversitesi, Fizik Mühendisliği Bölümünde iki yıl öğretim üyeliği ve Bölüm Başkanlığı yaptı. 1992 yılında TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi'nde Enerji Sistemleri Bölümü (Ensitütü) Başkanlığına getirilen Türe, burada kurucu olarak beş yıl görev yaptı. TÜBİTAK-MAM Yılın Personeli ve Proje Başarı Ödülleri aldı. 1998 yılında profesör olarak atandığı Mimar Sinan Üniversitesi'nde Fizik Bölümü Başkanı olarak görev yaparken Yeditepe ve Haliç üniversitelerinde de dersler verdi. 2005 yılında Birleşmiş Milletler Uluslararası Hidrojen Teknolojileri Merkezinde önce başkan yardımcısı daha sonra 2008 yılına kadar başkanlık yaptı. 2008 yılında Haliç Üniversitesi Rektörlüğüne atanan Prof. Dr. Türe 2010 yılına kadar bu görevi sürdürdü. Aynı yıl Arentek Enerji ve Teknoloji şirketini kurdu ve birçok şirkete danışmanlık yaptı. 2017 yılından beri MEF Üniversitesi öğretim üyeliği görevini sürdüren Prof. Türe, Temiz Enerji Vakfı kurucusu ve eski başkanı olarak da çalışmalar yapmaktadır. Prof. Türe'nin çoğunluğu uluslararası dergilerde olmak üzere 50'dan fazla yayını bulunmakta olup, bu yayınlarına 600 kadar atıf yapılmıştır. Prof. Türe bugüne kadar aralarında, Japonya, Çin, ABD, İngiltere, Fransa, İtalya, Norveç gibi ülkelerin de bulunduğu 30 kadar ülkede davetli konuşmacı olarak 40'dan fazla konferans vermiş ve birçok uluslararası toplantılara başkanlık yapmıştır.

E-posta: enginture@gmail.com *https://orcid.org/0000-0002-6570-1882*

Geliş Tarihi: 29.12.2021
Kabul Tarihi: 25.04.2022

Atıf: Türe, İ. E. (2022). Türkiye'nin enerji, su ve iklim değişikliği sorunları için kesin çözüm: Hidrojen yakıtı. *Kuşak ve Yol Girişimi Dergisi (BRIQ)*, 3(3), 22-49.

ÖZ

Bugüne kadar Ay'a Seyahat, Deniz Altında 20 Bin Fersah, 80 Günde Devriâlem kitaplarındaki birçok öngörüsü gerçekleşen Jules Verne'nin bu öngörüsü belki de diğerlerine göre çok daha gerçekçidir. Hidrojen yakıtı zaten birçok yerde kullanılmaya başlamıştır. İnanılması güç ama 1960 yıllarında hidrojen yakıtı ile çalışan traktör, golf arabası, hatta Volkswagen minibüs bile üretilip kullanılmıştır. Bu senelerde petrolün çok ucuz oluşu ve alt yapının hızlı bir şekilde hazırlanması ile hidrojene olan ilgi azalmış ve maalesef bu teknoloji geri plana itilmiştir. Bugünlerde artan petrol fiyatları, küresel ısınma ve dolaysıyla iklim değişikliği nedeniyle temiz enerjiler ve hidrojen tekrar gündeme gelmiştir. Güneş, rüzgâr gibi temiz ve tükenmez enerjilerin en büyük dezavantajı kesikli, güvenilir olmaması yanında yakıt olarak kullanılmasının mümkün olmadığıdır. Burada enerjinin büyük miktarda depolanabilmesini sağlayan hidrojen devreye girmektedir. Bilindiği gibi günümüzde enerjinin en büyük problemi büyük miktarda depolanamamasıdır. Burada hidrojen üretim kaynak ve yöntemleri arasına Karadeniz'deki büyük miktarda mevcut Hidrojen sülfür de eklenmiştir. Hidrojenin güvenliği ve depolanması için yine ülkemizin sahip olduğu Bor rezervinden faydalanma konusu işlenmiştir. Makale başlığında belirtildiği üzere enerji, su ve iklim değişikliği için kesin çözümün yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak özellikle sonsuz sayılabilecek potansiyele sahip deniz suyunun elektroliz ile gerçekleşebileceği anlatılmıştır. Bu makalede hidrojen enerjisinin özellikleri yanında, üretim teknolojileri, maliyetleri, güvenirliliği, ile deniz suyundan hidrojen üretiminin ülkemizle birlikte dünyanın enerji, su kıtlığı ve iklim değişikliği sorunlarına nihai çözüm olabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: deniz suyu, enerji, hidrojen-sülfür, hidrojen yakıtı, sodyum bor-hidrür

İnanıyorum ki suyu oluşturan hidrojen ve oksijen, birlikte ya da ayrı ayrı kullanıldığında taş kömüründen daha kuvvetli bir ısı ve ışık kaynağı oluşturacak ve tükenmez bir kaynak olarak sonsuza kadar enerji sağlayacaktır.

1874, Jules Verne "Gizemli Ada"

Giriş

BİLİNDİĞİ ÜZERE 19. YÜZYIL ORTALARINDA başlayan Endüstri Devriminden bu yana, önce kömür daha sonra petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıt olarak anılan yer altı kaynakları, yoğun bir şekilde enerji sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Sanayileşme ile enerji kullanımının artışı, ülkelerin yaşam standartlarını yükseltirken, fosil yakıt tüketimi de buna bağlı olarak hızlanmıştır. İnsanoğlu maalesef bu aşırı tüketimin, çevre kirliliğinin yanı sıra, küresel iklim değişikliği gibi son derece vahim sonuçları olabileceğini ancak son yıllarda fark edebilmiştir. Fosil yakıt şirketleri ise kendi çıkarları uğruna, iyi kazanç getiren bu sektörde başka alternatifleri sürekli küçümsemiş ve güçlerini kullanarak bunların karar vericiler nezdinde dışlanmasını sağlamışlardır (Türe, 2021: par.3).

Çevre dostu olarak bilinen güneş, rüzgâr, küçük akarsu gibi alternatif enerjilerin fosil yakıtlara görece daha pahalı olmasının yanı sıra toplum tarafından yeterince kabul edilemiyor olmasının bir

başka nedeni ise; bu kaynakların sürekli olmaması ve yakıt olarak kullanılamamasıdır.

Bilindiği üzere, kömür, petrol, doğalgaz gibi yakıtlar kullanıldığında, çevreye çeşitli gazlarla birlikte bazı toz parçacıkları atılmaktadır. Atılan bu gaz karışımı ve parçacıklar arasında, karbon oksitler, kükürt oksitler, hidrokarbonlar, polinükleer aromatik hidrokarbonlar (PAH), olefinler, aldehitler ve bazı diğer kirleticiler bulunmaktadır.

Hidrojen, kullanılan yakıtlara göre birçok avantaja sahiptir. Hidrojenin yakıt olarak kullanılacağı bir yakıt hücresinde, enerji yüksek verimle elde edilirken, atık olarak sadece saf su çıkmaktadır.

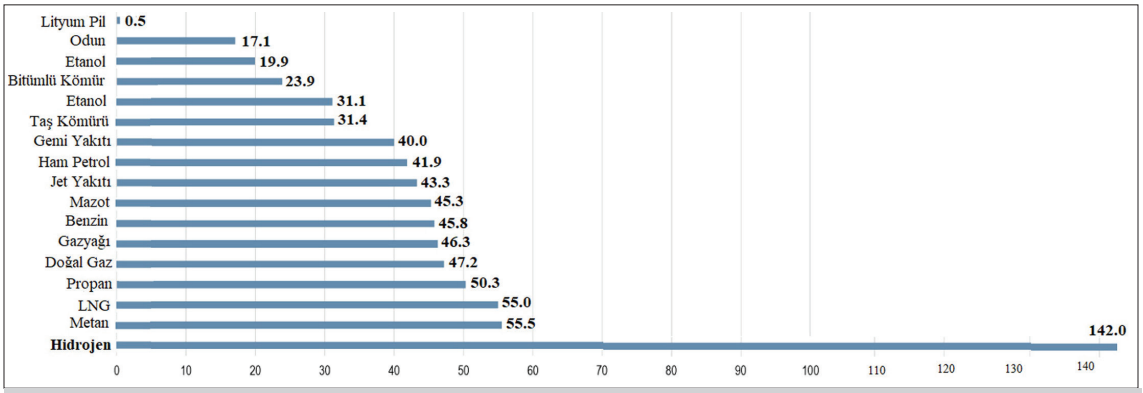
Hava kirliliğinin çevre üzerindeki etkileri, global, bölgesel ve yerel ölçekte meydana gelmektedir. Global ölçekte, başta karbondioksit olmak üzere, sera gazlarının yol açtığı küresel ısınma ve bunun sonucu olarak kasırgaların şiddetini arttırması, aşırı kuraklık veya sel gibi iklim değişikliklerini saymak mümkündür. Bölgesel ölçekte, asit yağmurları, ormanların tahribi, göllerin asitlik derecesinin artması sonucunda, ekolojik dengenin bozulması en önemli belirtilerdir. Yerel ölçekte ise, CO, SO_2 NOx, O_3 gibi hava kirleticileri, insan sağlığı, bitkiler, yapı ve malzemeler üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmektedirler. Şu anda, dünyada fosil yakıtların çevreye verdiği toplam zarar yılda 8 trilyon doları bulmaktadır (Greenpeace, 2020).

Hidrojen ise halen kullanılan yakıtlara göre birçok avantaja sahiptir. Hidrojenin yakıt olarak kullanılacağı bir yakıt hücresinde, enerji yüksek verimle elde edilirken, atık olarak sadece saf su çıkmaktadır. Hidrojen kaynağı olarak suyun kullanılması hidrojenin en önemli avantajlarından biridir. Halen hidrojen teknolojilerinin çözüm bekleyen en önemli problemlerinin başında, ekonomik olarak depolanma ve taşınma gelmektedir. Ancak son yıllardaki çalışmalar bu problemlerin kısa sürede aşı¬lacağını göstermektedir. Hidrojen teknolojisi, kullanım alanının sürekli gelişmesi ve enerji verimini arttıracak yöntemlerin ilavesiyle giderek önem kazanmaktadır.

Yapılan maliyet hesaplarına göre hidrojen teknolojisi sistemlerini kullanmak, mevcut fosil yakıt sistemlerinden daha pahalı olmakla birlikte yakın gelecekte artan petrol ve doğalgaz fiyatları ile bu konudaki eşitlik gelecek on yıl içinde sağlanacaktır. Fosil yakıtların sosyal maliyet olarak sınıflandırılan; küresel iklim değişikliği, hava kirliliği, petrol saçılmaları, maden kazaları vb. unsurların dünyaya verdiği bu zarar fosil yakıt fiyatları üzerine konulduğunda, maliyet açısından hidrojen çok daha avantajlı konuma gelmektedir.

Yukarıda da belirtildiği üzere fosil yakıtların sınırlı olması ve dünyamızı bekleyen çevre felaketleri nedeniyle bu durumun böyle devam etmesi zaten mümkün değildir. İnsanların sahip oldukları konfor ve yaşam standardından feragat etmeleri de mümkün olamayacağına göre, fosil yakıtlar yerine yeni bir sentetik yakıt bulunması gereği doğmuştur. Bu yakıt, temiz, çevre dostu, yenilenebilir, sonsuz, her yerde kullanılabilir, kolayca taşınabilir, ekonomik, yüksek kalori değeri ve verime sahip olmalıdır. Uzun yıllar yapılan çalışmalar ideal yakıtın kesinlikle hidrojen olduğunu ortaya koymuştur. Hidrojen çevre problemlerine tek çözüm olarak gösterilmekte ve ülkeleri fosil yakıtlardan kurtarabilecek "bağımsızlık yakıtı" olarak da adlandırılmaktadır. Hidrojen enerjisinin dünya gündemine oturması,

Şekil 1. Hidrojenin Çeşitli Yakıtlarla Göre Enerji İçeriği (MJ/kg)



Kaynak: Transport Geography, 2022.

1973'te enerji krizinin patlak vermesiyle bilim çevrelerinin bu soruna çözüm aramaları vasıtasıyla olmuştur.

Normal sıcaklık ve basınç altında kokusuz ve renksiz olan bu gaz oksijenle birleştiğinde hayat için en önemli madde, yani su elde edilmektedir. Hidrojen çok hafif bir gaz olup, yoğunluğu havanın 1/14'ü, doğalgazın 1/9'u kadardır. Atmosfer basıncında -253˚C'ye soğutulduğunda sıvı hale gelen hidrojenin yoğunluğu ise benzinin 1/10'u kadardır. Hidrojen en verimli yakıttır. Ortalama olarak, fosil yakıtlardan %26 daha verimlidir. Hidrojen bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji içeriğine sahiptir. Şekil 1 de hidrojenin diğer yakıtlara göre enerji içeriği verilmiştir. 1 kg hidrojen 2.1 kg doğalgaz veya 2.8 kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahiptir (Türe, 2021: par.6).

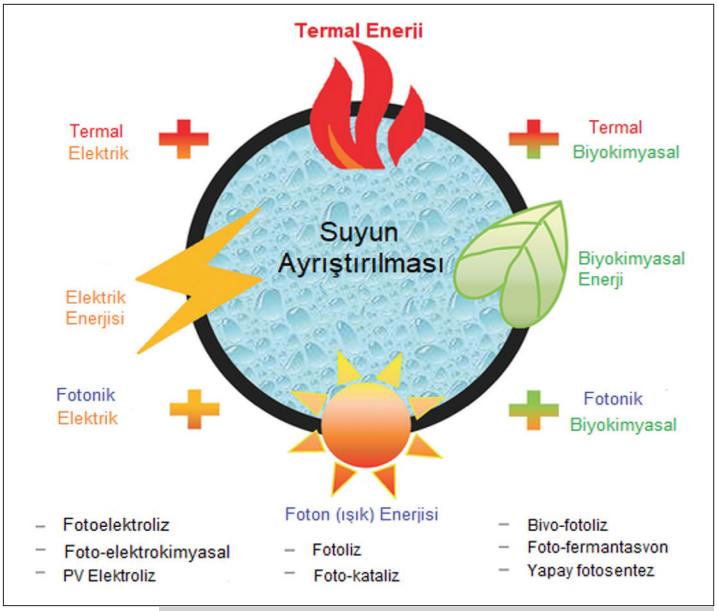
Sıvı hidrojenin ısıl değeri 120,7 MJ/kg iken uçak benzinin ısıl değerinin kg başına yalnız 44 Mega Joule olduğu göz önüne alındığında, sıvı hidrojenin roket yakıtı olarak kullanılmasını kolaylıkla anlamak mümkündür. Ancak birim hacim başına ısıl değeri düşüktür. Hidrojen gazının ısıl değeri, metre küp başına yaklaşık 12 Mega Joule olarak verilmiştir (Türe, 2021: par.7).

Hidrojen en temiz enerji taşıyıcısıdır. Hidrojenin yüksek verimi ve fosil yakıtların çevreye verdiği zarar göz önüne alındığında, hidrojen en uygun maliyetli yakıttır. Küresel iklim değişikliğine neden olan sera gazları üretmez, asit yağmurlarına neden olmaz ve ozon tabakasına zarar veren kimyasallar üretmez (Türe, 2021: par 8).

Hidrojen aynı elektrik gibi ikincil bir enerji, yani taşıyıcı olup, birincil enerji kaynaklarından üretilmesi gerekmektedir. Bu üretimin temiz enerji kaynakları ile sudan elde edilmesi ise hem sonsuz bir enerji, hem de dünyanın küresel ısınma başta olmak üzere tüm çevre problemlerinden kurtulması anlamına gelmektedir. Örneğin güneş enerjisi ile suyun hidrojen ve oksijene ayrılması, elde edilen hidrojenin istenilen yere boru hatları veya depolanmış olarak taşınması ve daha sonra yine oksijenle birleşerek yakılması sonucunda elde edilen enerjinin atık maddesi yine birkaç damla saf su veya su buharı olmaktadır (Türe, 2021: par 9).

Hidrojen yalnız bu yüzyılın değil, güneşin ömrü olarak tahmin edilen gelecek 5 milyar yılın da yakıtı olarak kabul edilmektedir (Türe, 2021: par 10). İnsanlığın ilk günlerinden başlayarak günümüze kadar geçen sürede kullandığı yakıtlar göz önüne alındığında, bu yakıtlar içinde hidrojen

Şekil 2. Sudan Hidrojen Eldesi İçin Kullanılan Çeşitli Yöntemler



Kaynak: Online Library, 2017.

oranının giderek arttığı açıkça görülmektedir (Türe, 2001). Bundan sonraki devrede bu yakıtın artık tamamen hidrojen olacağı kesindir.

Hidrojen Üretim Metotları ve Maliyetleri

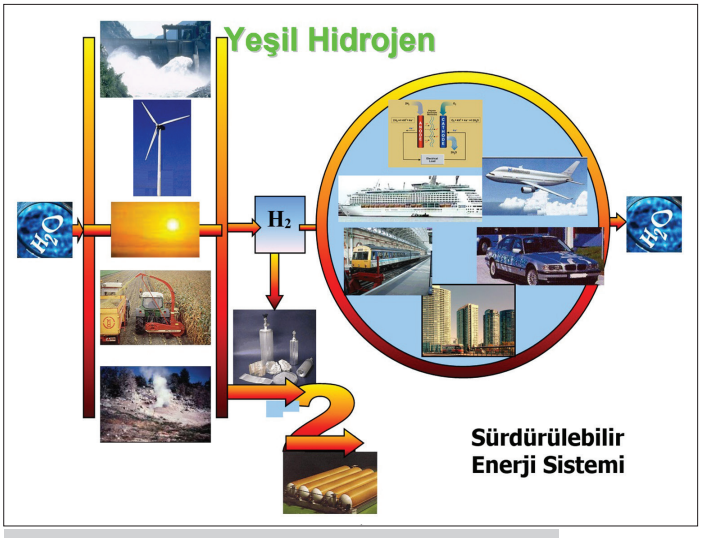
Hidrojen, değişik ana enerji kaynaklarının kullanılmasına bağlı olarak sudan çeşitli metotlarla elde edilebilir. Bunlar arasında, elektrolitik, termal, termo-kimyasal, elektro-termokimyasal, fotolitik ve karma metotlar bulunmaktadır. Suyun ayrıştırılması ile hidrojen üretimi için günümüzde kullanılan yöntemler Şekil 2'de özetlenmiştir.

Günümüzde hidrojen üretiminde en sık kullanılan yöntem doğalgazdan reforming yöntemi ile yüksek saflıkta hidrojen eldesidir. Bu yöntemle üretilen hidrojenin maliyeti kg başına ortalama 2 ABD dolarıdır. Ancak, hidrojenin kömür gibi fosil yakıtlardan elde edilmesi sonucu karbondioksit gazları da açığa çıkmaktadır. CO_2'in toprağın altına gömülerek saklanması teknolojisinin maliyeti de dikkate alındığında, fosil yakıtlardan hidrojen eldesi daha da pahalı hale gelmektedir. Hidrojen, fosil yakıt kaynaklarından elde edildiğinde, kaynağın temiz olmadığını belirtmek için buna "mavi hidrojen" denilmektedir (United States Department of Energy, 2020).

Günümüzde üretilen hidrojenin neredeyse %95'i tamamen ticari hale gelen ve çok iyi bilinen bu teknolojiler ile üretilmekte olduğundan, burada daha ziyade yeni teknolojilere yer verilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak suyun elektrolizi ile elde edilen hidrojen ise "yeşil hidrojen" olarak anılmaktadır (Şekil 3). Bu yöntem ile maliyet yaklaşık olarak kilogram hidrojen başına 3-7 ABD dolarıdır.

Tablo 1'de görüleceği gibi hidrojenin yenilenebilir enerji kaynaklarından ve nükleer enerjiden üretim maliyeti, fosil yakıtlara göre halen daha yüksek olmakla beraber,

Şekil 3. Yeşil Hidrojen Döngüsü



Kaynak: Online Library, 2017.

Tablo 1. Dünya'da Çeşitli Kaynaklardan Üretilen Hidrojen İçin Maliyetler

Hidrojen Üretim Kaynağı	Hidrojen Maliyeti $/kg
Doğal gaz	0.9-3.2
Doğal gaz CO_2 depolaması ile	1.5-2.9
Kömür	1.2-2.2
Yenilenebilir enerjiler ile suyun elektrolizi	3-7.5

Kaynak: Statista, 2020.

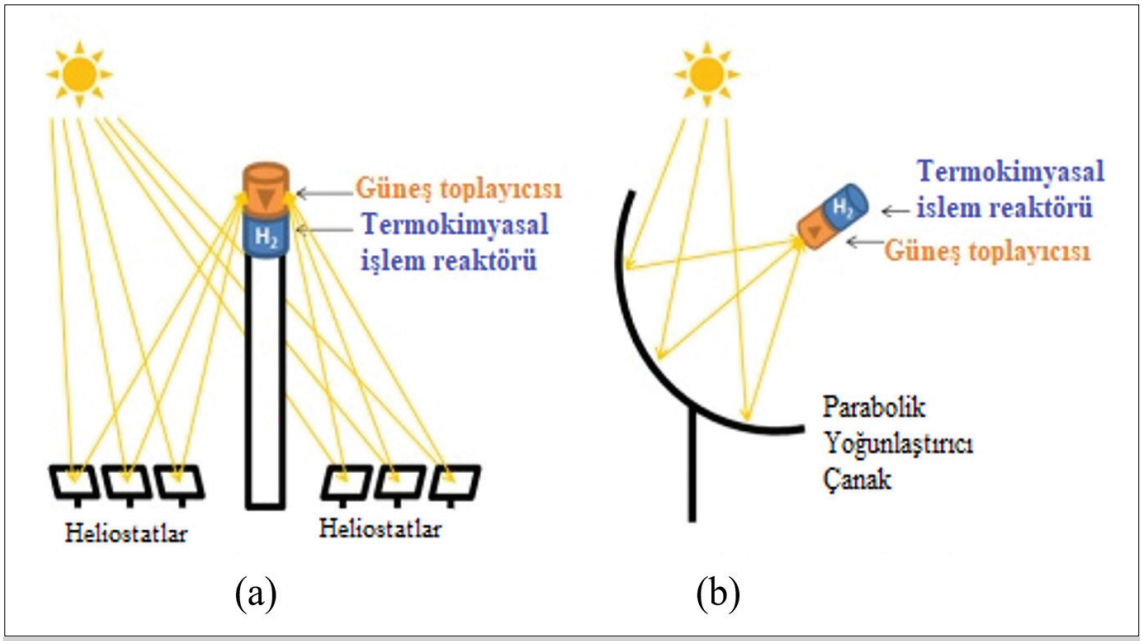
teknolojinin gelişimine bağlı olarak bu maliyetin düşeceği açıktır. Ayrıca, daha önce sözü edilen sosyal maliyetler fosil yakıtlara eklendiğinde yenilenebilir kaynaklardan elde edilen hidrojen yine daha ucuz olmaktadır. Burada rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek elektrik enerjisi kullanımı esas alındığından, hidrojenin sudan alkali veya PEM elektrolizörler kullanılarak eldesi söz konusudur. Bu nedenle hidrojen maliyetleri bu teknolojilere göre karşılaştırmalı ve tahmini olarak verilmiştir. Bilindiği üzere, doğalgaz ve elektrik fiyatları ülkeden ülkeye olduğu gibi seneler içinde de değişim göstermektedir. Ayrıca üretim için kullanılan cihazların maliyetleri, üretilen hidrojen miktarı gibi faktörler de elde edilen ürünün maliyetinde önemli rol oynamakta olup, hidrojenin kg fiyatı için kesin bir rakam yerine ancak belli bir aralık içinde fiyat tahmini olarak Tablo 1'de verilmiştir.

Güneş, Rüzgâr, Hidrolik ve Jeotermal Enerjilerden Hidrojen Üretimi

Tüm yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik yardımıyla suyun elektroliz edilmesi, hidrojen elde edilmesi için temel yöntemdir. Örneğin rüzgar enerjisi de yakıt olarak kullanılacak hidrojenin üretimi için değerlendirilen önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Verimleri her gün daha yüksek seviyelere çıkan rüzgâr türbinleri, rüzgâr enerjini elektrik enerjisine çevirmektedir. Böylelikle üretilen elektrik enerjisi de yine suyun elektroliz yöntemi ile ayrıştırılmasında kullanılmakta ve böylelikle hidrojen elde edilebilmektedir. Elektroliz yöntemleri arasında bazı farklılıklar bulunmakta olup, bunlar aşağıda verilmiştir. Suyun elektrolizi için alkali elektroliz, polimer elektrolit membran (PEM) ve katı oksit elektroliz hücreleri (SOEC'ler) dahil olmak üzere üç ana elektrolitik hücre türü vardır.

Günümüzde yıllık hidrojen üretimi, tüketiminin yılda yaklaşık %6 artmasıyla yaklaşık 80 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. Bilindiği üzere hidrojen büyük oranda sera gazı emisyonlarına yol açan bir süreç olan doğalgazın buharla reforme edilmesiyle üretilmektedir (Greenpeace, 2020: The Geography of Transport Systems, 2022). Küresel hidrojen talebinin %50'ye yakını şu anda doğalgazın buharla reformasyonu yoluyla, yaklaşık %30'u rafineri/kimyasal endüstriyel atık gazlardan kaynaklanan petrol/nafta reformundan, %18'i kömür gazlaştırmasından, %3.9'u su elektrolizinden ve %0.1 diğer kaynaklardan karşılanmaktadır.

Şekil 4. Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi İle Termokimyasal Hidrojen Üretimi
a) Merkezi Güneş Toplayıcı, Kule ve Heliostatlar b) Modüler Çanak ve Güneş toplayıcı



Kaynak: United States Department of Energy, 2022.

Doğrudan Ayrıştırma Yöntemleri

Yüksek Sıcaklıkta Suyun Ayrıştırılması (Termoliz)

İki bin beş yüz santigrat dereceden daha fazla sıcaklık uygulandığında suyun hidrojen ve oksijene kimyasal olarak ayrışması işlemidir. Reaksiyon tersinir olduğundan, hidrojen ve oksijenin tekrar suya dönüşmesini önlemek için etkin bir şekilde ayrılması gerekir. Bu yöntemde konsantre güneş enerjisi veya nükleer güç reaksiyonlarının atık ısı kaynak olarak kullanılabilir. Bu, yöntemle kullanılan ısı kaynağına bağlı olarak çok az veya hemen hemen hiç sera gazı atmosfere salınmaz.

Termokimyasal metotla suyun elektroliz işlemi sırasında, suyu parçalamak için (500-2,000)°C sıcaklıkta bir dizi kimyasal reaksiyon için (500–2,000)°C sıcaklık gerekir. Proseste kullanılan kimyasallar her döngüde yeniden kullanılarak yalnızca su tüketen, hidrojen ve oksijen üreten kapalı bir çevrim oluşturulur. İşlemler için gerekli yüksek sıcaklıklar çevre dostu yoğunlaştırılmış güneş enerjisi ile sağlanır (Şekil 4; United States Department of Energy).

Termoliz işlemi için gerekli yüksek sıcaklığı azaltmak için örneğin 1,200-1,500°C'lere indirmek için ara maddeler (katalizörler) kullanılır.

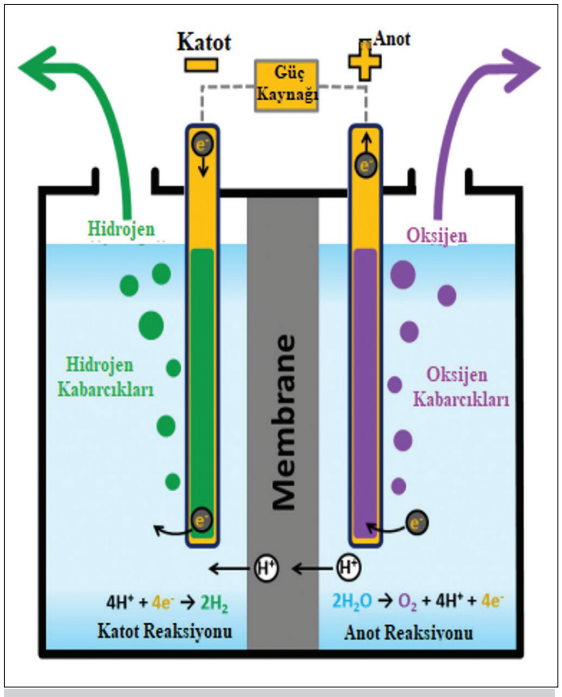
Elektroliz (Alkali)

Suyun elektrolizi veya suyun oksijen ve hidrojene ayrıştırılması 1890'lardan beri bilinen ve ticari olarak kullanılan bir yöntemdir. Elektroliz, basit olarak su içine iletkenliği arttıran KOH veya NaOH gibi bir madde katılarak ve bu sıvının içinden doğru akım geçirerek su mole-

külünde bulunan kimyasal bağların kırılmasını sağlayan bir işlemdir. Aynı zamanda, elektrolitik sıvı içine batırılmış metal elektrotlar aracılığı ile dışarıdan elektrik akımı uygulayarak, bir sıvı içinde çözünmüş kimyasal bileşiklerin ayrıştırılması olarak da tanımlanır.

Elektroliz Hidrojenin saf olarak elde edilmesi için kullanılan en önemli metottur. Elektroliz hücresinde elektrotlar kullanılan elektrolitik sıvıya göre değişik metallerden seçilebilmektedir. Bu hücre, çözünerek artı ve eksi yüklü iyonlara ayrılmış bir bileşiğin içine daldırılmış iki elektrottan oluşur ve bu elektrotlar birbirine değmeyecek biçimde (genellikle iki elektrot arası 5-20 cm)ayarlanır. Örneğin Alkali elektroliz hücrelerinde nikel tabanlı, nikel-alüminyum alaşım gibi elektrotlar tercih edilmektedir.

Şekil 5. Alkali Elektroliz Hücresi



Kaynak: Nelly Hydrogen, 2022.

Su içine iletkenliği arttırıcı sülfürik asit konulduğunda ise elektrot olarak asitten etkilenmeyen platin kullanılması gerekir. Platin yüksek verim veren elektrot olmakla beraber maliyet yönünden tercih edilmemektedir. Elektrotlar arasına dışarıdan en az 1.23 Volt gerilim uygulandığında katottan%99.9 saflıkta hidrojen, anottan ise oksijen gazı çıkar. KOH veya NaOH karıştırılmış elektrolitik hücre durumunda reaksiyon sırasıyla;

Katotta $2\ H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ (1)

Anotta $2OH^- \rightarrow 0.5\ O_2 + H_2O + 2e^-$ (2)

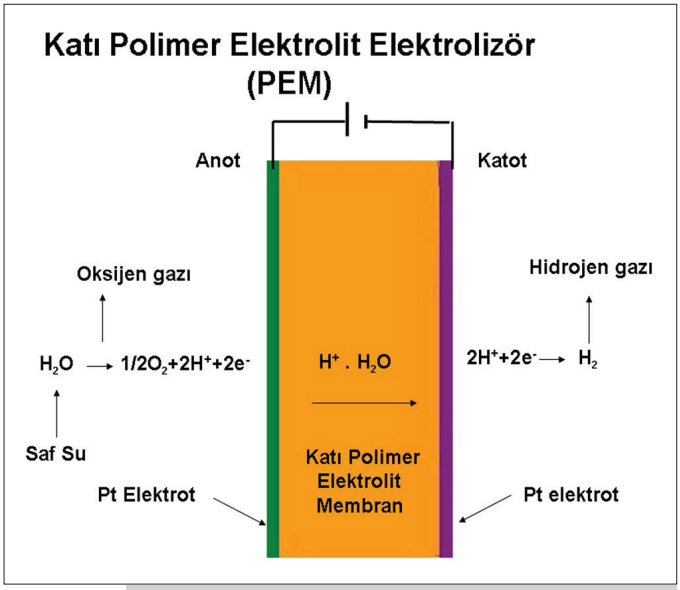
Toplam reaksiyon : $H_2O \rightarrow H_2 + 0.5\ O_2$ (3)

olarak meydana gelir. Alkali bir elektrolizör şeması aşağıda gösterilmiştir.

Proton Geçirgenli Membran Elektrolizör (PEM)

Proton Geçirgenli Membran veya Polimer Elektrolit Membran Elektrolizör (Proton Exchange Membrane-PEM): Bu tip elektrolizörler elektrokimyasal olarak 2000 psi veya daha yüksek basınçlarda ve %85 veya üzeri verimle hidrojen üretmek için tasarlanmıştır. Böylece daha sonra hidrojenin sıkıştırılması için kompresör kullanmaya da gerek kalmaz. PEM elektrolizör sıvı elektrolit yerine genellikle polimer tabanlı katı bir membran kullanır. Bu tip elektrolizörlerin bir diğer avantajı da parasitik kayıpların az olması yanında yüksek saflıkta hidrojen üretebilmesidir. PEM elektrolizörler basit yapıları ve hidrojen üretimi yanında, gazı basınçla depolayabilmeleri nedeniyle son yıllarda üzerinde en çok çalışılan konuların başında gelmektedir. Günümüzde "Regenarative Fuel Cell" olarak tanımlanan yakıt pilleri tersi-

Şekil 6. PEM Elektrolizör



Kaynak: Kumar & Himabindu, 2021.

ne çalışarak elektrolizör görevi yaptığı gibi, yakıt hücresi olarak da hidrojenden elektrik üretebilmekte ve atık olarak yine saf su çıkmaktadır. PEM elektrolizörü/yakıt pili şeması Şekil 6'da verilmiştir.

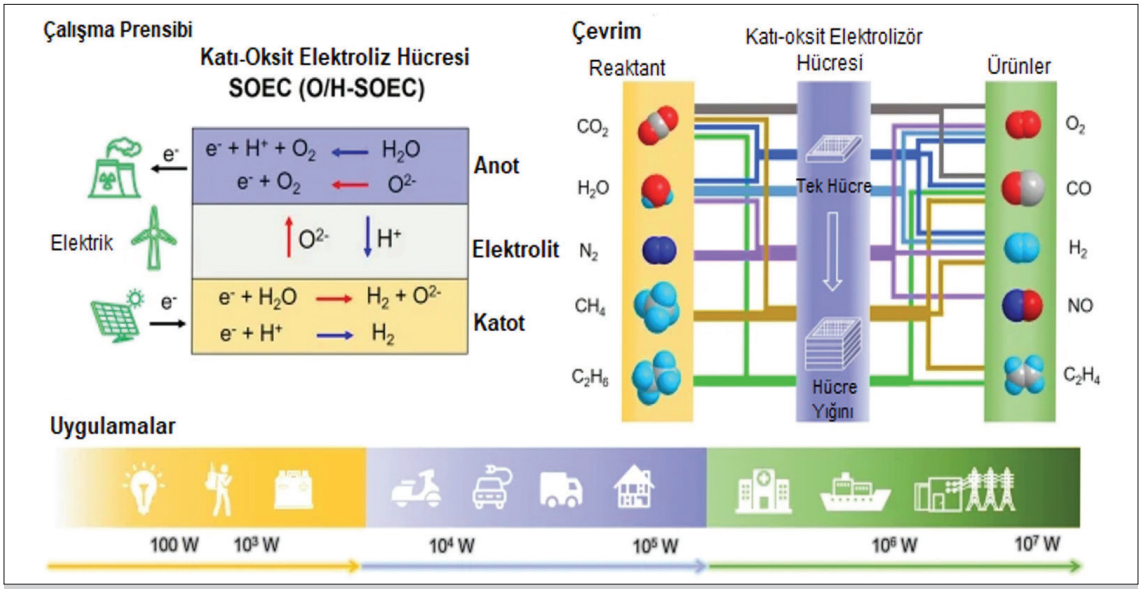
Katı-oksit Elektrolizör (Solid Oxide Electrolysis Cell- SOEC)

Katı-oksit elektrolizörler genelde (700-1000)°C gibi yüksek sıcaklıklarda negatif yüklü oksijen iyonlarını (O_2)- seçici olarak uygulayan elektrolit olarak ise katı bir seramik malzeme kullanan elektroliz hücrelerdir. Sistemde öncelikle dış devreden gelen elektronlar, hidrojen gazı ve negatif yüklü (O_2)- iyonları oluşturmak için katotta su ile birleşir. Daha sonra, oksijen iyonları seramik membrandan geçerek anotta reaksiyona girerek oksijen gazı meydana getirir ve dış devreye elektron sağlar. İşlem yüksek sıcaklık buhar elektrolizörü olarak da tarif edilebilir. Katı-oksit elektrolizörler Proton geçirgenli membran (PEM) elektrolizörlerden çok daha yüksek verime sahiptir (Tucker, 2020; Zheng, vd., 2021).

Fotonik Enerji (Fotoliz)

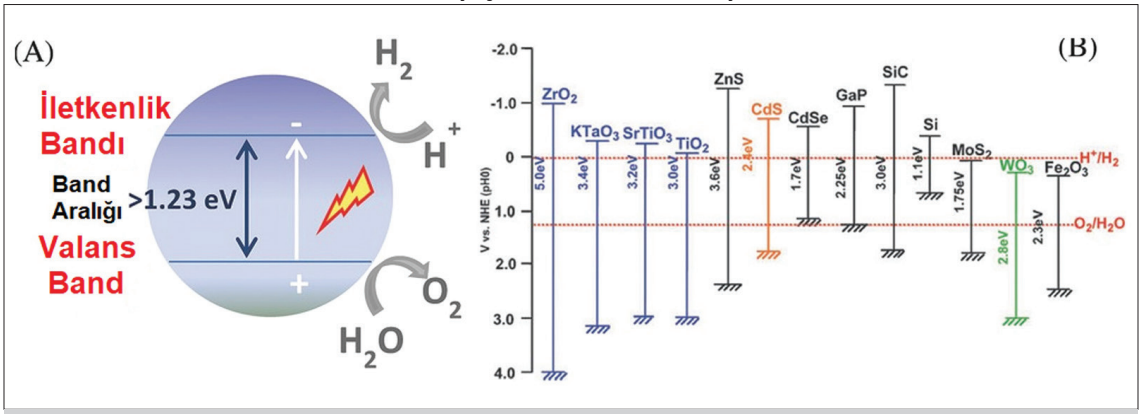
Fotoliz, suyun fotonik enerji ile hidrojen ve oksijene kimyasal olarak ayrışmasını içerir. Su

Şekil 7. Katı-Oksit Elektroliz Hücresi



Kaynak: Tucker, 2020; Zheng, vd., 2021.

Şekil 8. Fotokatalitik Su Ayrıştırma: A) Yarıiletken Fotokatalist İle Su Ayrıştırma B) Yarıiletken Bant Yapısı ve Su Ayrıştırma Redoks Potansiyeli



Kaynak: Kudo & Miseki, 2009; Hisatomi, vd., 2014; Tee, vd., 2017.

ayırma işlemi için potansiyel 1.23 eV olduğundan, buna eşdeğer olan fotonların dalga boyu 1008 nm olup, kızılötesi ışığa karşılık gelir. Bu da suyun ayrışmasının teorik olarak kızılötesi ışıkla mümkün olduğunu göstermekle beraber endüstriyel olarak uygulaması mevcut değildir. Son zamanda yüksek frekans yerine daha düşük frekanslı radyasyon altında fotokatalitik yöntemle suyun ayrıştırılması üzerine daha yoğun çalışmalar yapılmaktadır (Tee, vd., 2017; Waterhouse, vd., 2013).

Biyokimyasal Metot

Karbonhidratların çeşitli bakterilerin anaerobik (oksijensiz) ortamda fermente olmasıyla hidrojen eldesidir. Fermantasyon işlemi oksijen yokluğunda aşağıdaki reaksiyonla hidrojen üretebilir (Tokio, 1979).

$$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2\,CO_2 + 4H_2$$

Dolaylı (Çok Basamaklı) Yöntemler

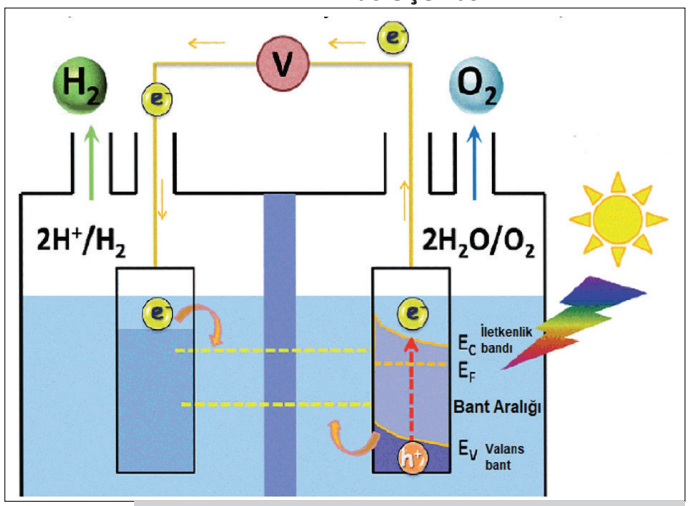
Termo-elektroliz

Suyun termo-elektrolizi, elektrik ve termal enerjinin birleşik kullanımı ile suyun kimyasal olarak ayrışmasını içerir. Yüksek sıcaklıkta daha verimli ve ekonomiktir, çünkü gerekli enerjinin önemli bir kısmı daha ucuz termal enerji ile sağlanır ve bu, elektrik enerjisi talebini önemli ölçüde azaltır ve yüksek sıcaklıkta elektrolitik reaksiyon kinetiğini hızlandırır. Alkali elektroliz optimal olarak 200 °C'ye yakın yüksek sıcaklıkta çalışır ve endüstriyel ölçekte hidrojen üretimi için kullanılır. PEM elektrolizörleri tipik olarak 100 °C'nin altında çalışır (alkali elektrolizden daha verimlidir) ve ticari uygulama için giderek daha fazla kullanılabilir hale gelir. SOEC elektrolizörleri, elektriksel olarak en verimli ancak en az gelişmiş olanlardır. SOEC teknolojisi, hızlı malzeme bozulması ve sınırlı uzun vadeli kararlılıkla zorluklarla karşı karşıyadır (Chao, 2019; Baniasadi, 2012).

Biyofotoliz

Suyun biyofotolizi, doğrudan ve dolaylı yöntemle hidrojen üretimi için biyokimyasal ve fotonik enerjinin kombine kullanımı ile mikroorganizmalar (yani yeşil mikro algler ve siyanobakteriler) tarafından oksijenik fotosentez içerir. Doğrudan biyofotolizde, mikroorganizmalar güneş ışığını yakalayarak suyuhidrojen iyonu ve oksijene ayır-

Şekil 9. Foto-elektrokimyasal Elektroliz Hücre Şeması



Kaynak: Fujishima & Honda, 1972; Nozik, 1978; Chen, 2010; Ruth vd., 2017.

dıklarında, üretilen hidrojen iyonları ayrıca hidrojenaz enzimi (yani $2H_2O$ + güneş → $2H_2$ + O_2) tarafından hidrojene dönüştürülür. Dolaylı biyofotolizde, güneş enerjisi mikroorganizmalar tarafından fotosentez yoluyla yakalanır ve daha sonra hidrojen üretmek için kullanılan bir tür karbohidratta $6CO_2$ + $12H_2O$ + güneş → $C_6H_{12}O_6$ + $6O_2$depolanır daha sonra $C_6H_{12}O_6$ + $12H_2O$ + güneş → $12H_2$ + $6CO_2$reaksiyon sonucu hidrojen ve karbon dioksite ayrışır (Kamran & Fazal, 2021).

Foto-katalitik Su Ayrıştırma (Foto-kataliz)

Fotokatalitik yöntem basit olarak, foton enerjisi ile birlikte katalizör kullanılması yardımıyla hidrojen eldesidir. Örneğin güneş enerjisi ile fotokatalizör olarak TiO_2kullanılması bu alanda en çok çalışılan konular arasındadır. Suyun foton enerjisi ile parçalanması için ışığı çeken fotokatalitik yarı iletkene ihtiyaç vardır. Reaksiyon basit olarak;

$$H_2O \xrightarrow[\text{Fotokataliz}]{\text{Güneş enerjisi}} H_2 + \tfrac{1}{2}\, O_2$$

olarak verilir.

Fotokatalizör olarak kullanılan yarıiletkenlerin özellikleri gelen foton enerjisi ile valans banttan elektronların iletkenlik bandına geçerek iletkenlik sağlamalarıdır. Yarıiletken fotokatalizör üzerine düşen ışınımın enerjisi, en az bu yarı iletkeninin valans bandı ile iletkenlik bandı arasındaki eV olarak verilen yasak aralık enerji değerine eşit olmalıdır. Fotokatalizör olarak en çok kullanılanlar TiO_2, CdS, Fe_2O_3ve SnO dur. Foto-katalitik yöntemde ışığın UV ve görünür bölgesinde bulunan foto-katalizörler, ışık absorpsiyonu ile iletkenlik bandında suyun hidrojene indirgenme reaksiyonu gerçekleştirerek hidrojen elde edilmesini sağlarlar (Kudo & Miseki, 2009; Hisatomi, vd., 2014).

Şimdiye kadar, rapor edilen foto-katalistlerin çoğu sadece ultraviyole ışık ışınımı altında aktiftir. Ancak, ultraviyole ışık (<400 nm) toplam güneş enerjisinin sadece %4'ünü oluştururken, görünür ışık (400-800 nm) ve kızılötesi ışık (>800 nm) toplam güneş enerjisinin sırasıyla %53 ve %43'ünü oluşturur.

Foto-Elektrokimyasal Ayrıştırma

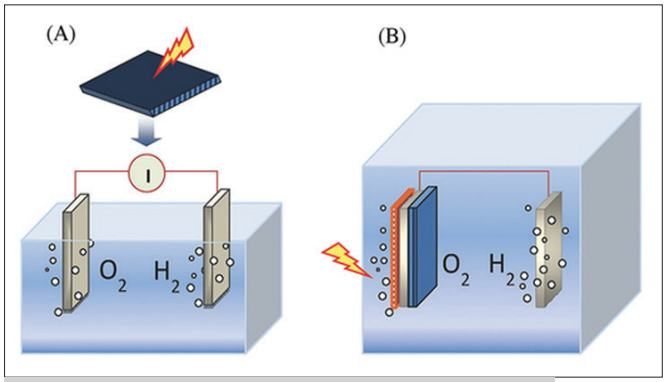
Foto-elektrokimyasal sistemler, güneş enerjisi kullanarak su moleküllerini ayrıştırır ve kimyasal tepkime sonucu olarak hidrojen elde edilir. Foto-elektrokimyasal yöntemlerin en büyük avantajı enerji kaynağı olarak güneş yanında sadece suya ihtiyaç duyması olup, gelecek için ciddi bir potansiyeli olmasıdır (Fujishima & Honda, 1972; Nozik, 1978; Chen, 2010). Foto-elektrokimyasal sistemler foto-anot, foto-katot ve elektrolit olmak üzere üç temel kısımdan oluşur (Şekil 9). Foto-anot, üzerlerine düşen güneş ışığı ile birlikte elektron-hole çiftleri olur ve foto anodun yüzeyine temas eden su molekülü oksitlenerek oksijen molekülü ve pozitif yüklü hidrojen molekülü ortaya çıkar.

Fotovoltaik Entegre Edilmiş Foto-Elektrokimyasal Su Ayrıştırma

Bilindiği gibi fotovoltaik hücreler güneş enerjisini doğrudan elektriğe çeviren elektronik araçlar olup, suyu ayrıştırarak hidrojen eldesi için elektrolizöre gerekli elektrik enerjisini sağlayabilir. Böyle bir sistem aşağıda Şekil 10'da verilmiştir. Kristal silisyum tabanlı bir fotovoltaik hücre %18 verimliliğe sahip olup, %80 verimliliğe sahip bir elektrolizör ile entegre edildiğinde, kombine güneş enerjisiyle çalışan elektrolizör sistemi ≈%14.19'luk verimle çalışır. Güneş pili ve elektrolizörün ayrı yapısı ile güneş pili elektrolite daldırılmayı gerektirmez ve bu nedenle korozyona neden olmaz. Fotovoltaik entegreli güneş enerjisiyle çalışan su ayrıştırma, doğrudan yenilenebilir güneş enerjisi kaynağını kullanır ve hidrojen üretimi sırasında sera gazı salmaz.

Günümüzde ticari olarak kullanılan Alkali, PEM ve Katı-oksit elektrolizörlerden hidrojen üretimi için halen ve gelecekte öngörülen maliyetler Tablo 2'de verilmiştir (Türe, 2005).

Şekil 10. Fotovoltaik Entegre Edilmiş Elektroliz İle Su Ayrıştırma Sistemi A) Fotovoltaik Sistem ve Dış Elektrolizör B) Fotovoltaik Entegre Elektroliz Hücresi



Kaynak: Kudo & Miseki, 2009; Hisatomi, vd., 2014; Tee, *vd., 2017.*

Hidrojen Sülfür den (H_2S) Hidrojen Üretimi

Uzun yıllardır yapılan çalışmalar Karadeniz'de çok büyük miktarda hidrojen sülfür olduğunu göstermekte olup, bu miktar her geçen yıl 2,73 x 106 metrik ton artmaktadır. Bunun nedeni Kuban, Don, Dinyeper, Dinyester ve Tuna olmak üzere beş büyük nehrin organik bileşiklerini hala Karadeniz'e akıtıyor olmasıdır. Aşırı

Tablo 2. Elektrolizör Maliyetleri

Elektrolizör Verimleri

Tip	2020	2040
Alkali	%70	%80
PEM	%60	%74
Katı oksit	%81	%90

Elektrolizör Ömürleri

Tip	2020	2040
Alkali	7,500 saat	125,000 saat
PEM	60,000 saat	100,000 saat
Katı oksit	20,000 saat	85,000 saat

Yatırım Maliyetleri

Tip	2020 $	2040 $
Alkali	571	354
PEM	385	239
Katı oksit	677	420

Hidrojen Maliyetleri

2020 $/kg	2040 $/kg
5.13	2.90

Kaynak: Türe, 2005.

Tablo3. Karadeniz'in Farklı Derinliklerdeki H_2S Konsantrasyonları

Derinlik (m)	Ortalama H_2S Yoğunluğu (g/m^3)				
	(Türe, 2004)	(Brewer, vd., 1974)	(Lein&Ivanov, 1990)	Weber, vd., 2001)	Hesaplanan
100		0.27	0.08	0.3	0.05
200			0.14		0.20
300			2.55		2.05
500					5.44
1000	5.27	10.3	8.0		9.18
1500	5.62	12.9		9.4	9.52
2000		13.6		12.2	11.56
2100					12.08
2200	8.9				12.75
2200-Dip				16.1	13.6

Kaynak: Türe, 2004; Brewer, vd., 1974; Lein & Ivanov, 1990; Weber, vd., 2001.

miktarda Organik madde, normalde onu aerobik olarak parçalayacak olan bakteriler için çok fazla olduğundan çözünmüş oksijen kaynağını tüketerek anaerobik bakterileri baskın hale getirmektedir. Bu organizmalar, deniz suyunun bir bileşeni olan sülfat iyonlarından oksijeni alarak işlemde artık gaz olarak H_2S oluştururlar. Karadeniz'deki H_2S konsantrasyonunun biri yüzeyden 700 m'ye ve diğeri 700 m'den dibe kadar iki farklı rejime uyduğu bulunmuştur (Türe, 2005; Dimitrov, P., & Dimitrov, D., 2004). Çeşitli kaynaklardan alınan veriler aşağıda Tablo 3'te verilmiştir.

Karadeniz'de şu anda mevcut olan H_2S rezervuarının 5.27 x 109 metrik ton olduğu tahmin edilmektedir. Karadeniz'deki bu Yüksek miktardaki H_2S den hidrojenin ayrıştırılması hem ekonomiye katkı sağlayacak hem de ileride oluşacak çevre felaketlerini önleyecektir. Elde edilen sonuçlara göre hidrojen sülfürün elektrolizi ile elde edilen hidrojen, suyun elektrolizine göre 3 kat daha ekonomiktir (COSIA, 2017).

Hidrojen sülfür, H_2S, çürük yumurta kokulu kötü kokudan sorumlu renksiz, zehirli, yanıcı bir gazdır. Hidrojen sülfür havadan ağır olduğu için yetersiz havalandırılan alanlarda yere yakın birikme eğilimindedir. Genellikle bakteriler, bataklıklar ve lağımlar gibi oksijenin yokluğunda organik maddeler parçaladığında ortaya çıkar. Volkanik gazlarda, doğalgazda ve bazı kuyu sularında da oluşur.

H_2S üreten bakterilerin insanın kalın bağırsağındaki faaliyetleri sonucu üretilen gaz içindeki koku büyük ölçüde eser miktarda H_2S gazından kaynaklanır. Ağızdaki bu tür bakteriyel hareket, ağız kokusuna katkıda bulunabilir. Toplam küresel H_2S emisyonlarının yaklaşık %10'u insan faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır (Rubright, vd., 2017). H_2S üretimi en çok petrol rafinerilerinde gerçekleşir, hidro-desülfürizasyon işlemi ile gerçekleşir ve hidrojenin etkisiyle petrolden sülfürü ayırır. Elde edilen H_2S, Claus işlemi yolu ve kısmi yanma ile elementel kükürde dönüştürülür. Hidrojen sülfür den hidrojen üretimi için de Clausmetodu kullanılır ancak burada metodun bazı adımları değiştirilmiştir. Genel olarak termal ve katalitik reaksiyonlar

olmak üzere iki basamaklı bir işlemdir.

(a): Termal Adım: H_2S hava ile kısmen oksitlenir. Bu, yüksek sıcaklıkta (1000-1400) °C bir reaksiyon fırınında yapılır. Kükürt oluşur, ancak bir miktar H_2S reaksiyona girmeden kalır ve bu reaksiyonlarda az miktarda SO_2 üretilir.

$$H_2S + 3/2\ O_2 \rightleftharpoons SO_2 + H_2O \qquad (1)\ adım$$

$$2\ H_2S + SO_2 \rightleftharpoons 3/n\ Sn + 2\ H_2O \qquad (2)\ adım$$

İşlem için genel reaksiyon

$$3\ H_2S + 3/2\ O_2 \rightleftharpoons 3/n\ Sn + 3\ H_2O$$

İşlem için genel reaksiyon

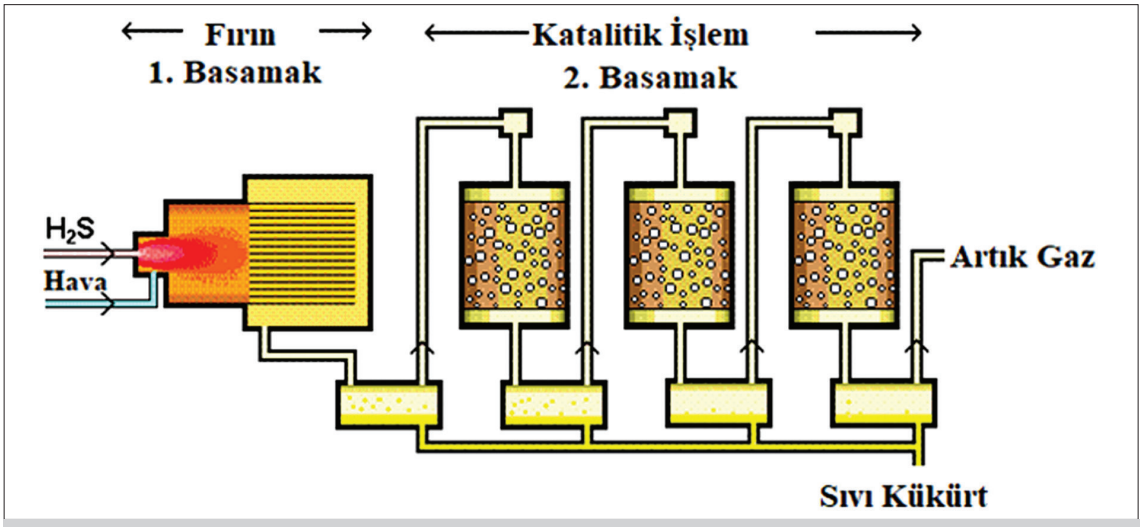
(b): Katalitik Adım: Geri kalan H_2S, daha fazla kükürt yapmak için SO_2 ile reaksiyona girer, oran yaklaşık %99.8'dir. Hidrojen üretimi için kullanılan Claus metodu basit olarak Şekil 11'de gösterilmiştir.

Hidrojen sülfürün deniz suyunda çözünmüş halde bulunması nedeniyle, hidrojen elde etmeden önce sırasıyla; yoğunluğu yeterli olan H_2S'in doğru derinlikten yüzeye pompalanması, H_2S molekülünü parçalanmadan sudan ayrılması gerekmektedir. Bu oldukça karmaşık sistemin detayları ilgili yayında verilmiştir (Naman, vd., 2008).

Biyokütleden Hidrojen Üretimi

Hidrojen üretiminde su yerine biyokütle olarak tarif edilen, her türlü organik atık, odun, tezek vs. kaynak olarak kullanıldığında, elektroliz yönteminden farklı bir metot uygulanır. Yapılan çalışmalar hidrojenin en ucuz, biyokütle kaynaklarından üretilebileceğini göstermektedir. Özellikle enerji tarımıyla, örneğin hızlı büyüyen sorgum gibi enerji bitkilerinin, tarımla rekabet etmeyen nispeten çorak arazilerde yetiştirilmesi ile elde edilen bu kaynak hidrojen üretimi için son derece yararlıdır. Biyokütleden hidrojen eldesinde piroliz, hetotropik ve foto fermantasyon gibi yöntemlerin yanı sıra bakterilerden de faydalanılmaktadır. Biyokütleden hidrojen üretildiği takdirde, daha önce bitki büyürken fotosentez yoluyla absorbe

Şekil 11. Klasik Claus İşlemi (Metodu)



Kaynak: Naman, vd., 2008.

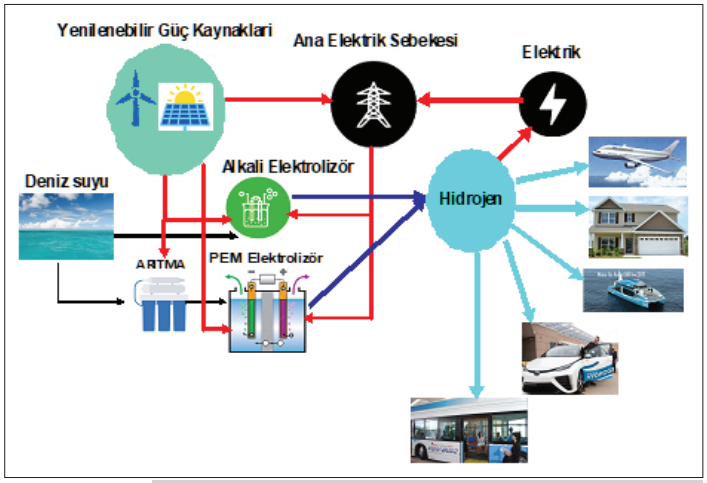
edilen CO_2 açığa çıkacağından atmosferdeki CO_2 dengesi değişmeyecek ve çevre zararı olmayacaktır.

Deniz Suyundan Hidrojen Üretimi

Denizlerdeki su miktarı ve güneş, rüzgâr enerjilerinin potansiyelleri göz önüne alındığında denizlerden milyarca ton hidrojen dolaysıyla enerji ve saf su elde etmek, dünyanın çevre, enerji ve su problemleri için yegâne çözümdür (Türe, 2021: par.14). Burada deniz suyu içindeki tuz (NaCl) nedeniyle klor gazı elektrolizde elektrotların kirlenmesine yol açtığından ya suyun önce ters ozmos gibi bilinen tekniklerle arıtılması veya elektrot üzerinde bazı yeni teknolojik geliştirme yapmak gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak gerçekleştirilebilecek bu iki aşamalı teknik şematik olarak Şekil 12'de verilmiştir.

Dünya üzerindeki okyanusların tuzluluk oranı %3.1 ile %3.8 arasında değişmekle beraber, denizlerin tuzluluk oranı ortalama su sıcaklığı ve iklimin kuruluğuna bağlı olarak buharlaşma ile artarken, denizi besleyen akarsuların taşıdığı su miktarı ile azalmaktadır. Deniz suyunda su

Şekil 12. Deniz Suyundan Hidrojen Üretim Alternatifleri



Kaynak: Türe, 2021.

(H_2O) ve tuzun (NaCl) dışında magnezyum, kalsiyum gibi birçok mineral bulunmaktadır. Saf bir ergimiş tuzun elektrolizinde elektrotlarda gerçekleşecek tepkimeler tuz iyonlarını nötralize eden yarı hücre tepkimeleridir. Oysa deniz suyu arıtımından arta kalan salamuradaki sodyum klorür çözeltisinin elektrolizinde hem suyun hem de tuzun iki indirgenme ve iki yükseltgenme tepkimeleri katot ve anotta yarışacaktır. Na+ ve Cl- dışındaki eser elementlerin oluşturduğu iyonlar ilk aşamada ihmal edilmekle beraber bunların da ekonomik önem taşıdığı ve ayrıca elektrotların çalışma ömrünü etkileyebilecekleri göz ardı edilmemelidir. Tepkimelerin standart hidrojen elektrodu ile kıyaslanan standart yarı hücre potansiyelleri E0 ile gösterilmiştir.

Katot indirgenme tepkimeleri:

$2\ Na^+(aq) + 2\ e^- \rightarrow Na(k)$ $\quad E0 = -2{,}71\ V$

$2\ H_2O(s) + 2\ e^- \rightarrow H_2(g) + 2\ OH^-(aq)$ $\quad E0 = -0{,}83\ V$

Anot yükseltgenme tepkimeleri:

$2\ Cl^-(aq) \rightarrow Cl_2(g) + 2e^-$ $\quad E0 = 1{,}36\ V$

$2\ H_2O(s) \rightarrow O_2(g) + 4\ H^+(aq) + 4\ e^-$ $\quad E0 = 1{,}23\ V$

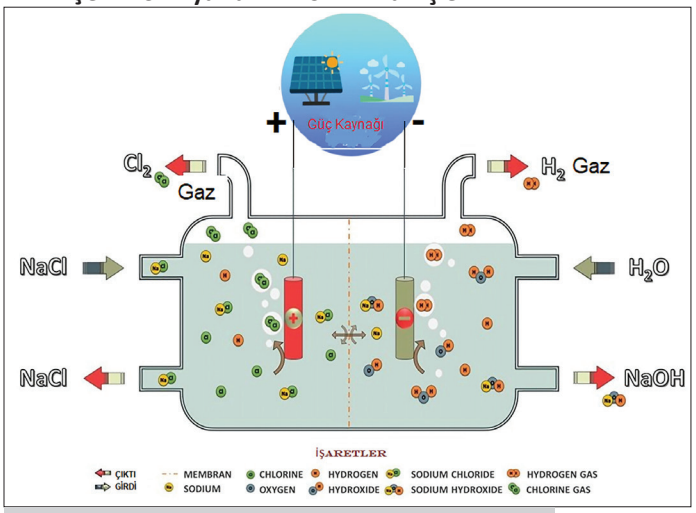
Elektrokimyasal hücrenin standart pil potansiyeli, standart katot potansiyeli (E0katot) ile standart anot potansiyeli (E0anot) arasındaki potansiyel farkına, yani indirgenme ile yükseltgenme yarı hücre potansiyel farkına eşittir.

$E0pil = E0katot - E0anot$

Katot yarı tepkimeleri incelendiğinde sodyumun indirgenmesi suyun indirgenmesine kıyasla çok daha negatif olduğu için katotta H_2 oluşacak, Na+

iyonuysa çözeltide kalacaktır. Bazı özel katalizörler haricinde O_2'nin aşırı potansiyeli Cl_2'nin aşırı potansiyeline göre daha fazla olduğu için, pil potansiyeli daha düşük olmasına rağmen, anotta O_2 değil istenmeyen zehirli Cl_2 gazı oluşacaktır. İşlemlerde H_2 dışında klor Cl_2 ve alkali NaOH (aq) iki ana ürün olduğundan, işlem klor-alkali işlemi olarak adlandırılır. Şekil 13'te gösterilen diyafram hücresinde Cl_2 anot bölmesinde, H_2 ve NaOH ise katot bölmesinde üretilir. Diyaframın (Membran) görevi Cl_2 ile NaOH'ın temasına engel olarak ClO- , ClO_3- ve Cl- iyonları gibi istenmeyen ara ürünlerin oluşmasına engel olarak klor-alkali ürün verimini arttırmaktır. Katot bölmesindeki yaklaşık %10-12 NaOH(aq) ve %14-16 NaCl (aq) içeren çözelti, suyun bir kısmı buharlaştırılarak ve NaCl(k) kristalleştirilerek deriştirilir ve saflaştırılır. Son ürün %1'e kadar NaCl(aq) içeren %50'lik NaOH'dır.

Şekil 13. Diyaframlı Klor – Alkali Işlemi



Kaynak: Protank, 2018.

Hidrojen Yakıtının Güvenilirliği

Gelişen hidrojen teknolojisi, doğalgaz, petrol, kömür ve uranyum gibi nükleer yakıtların geniş çapta kullanımı nedeniyle ortaya çıkan kazalar yanında çok daha güvenli kalmaktadır. Hidrojen kullanımında bazı kurallara uyulduğu takdirde tehlike yok denilecek kadar azalmaktadır. Aslında, hava gazı olarak bilinen ve dünyanın birçok büyük şehrinde yaygın olarak kullanılan gaz karışımı içinde %50 hidrojen, %30 metan ve %7 oranında zehirli bir gaz olan karbon monoksit bulunmaktadır (Türe, 2021: par.25). Hidrojenin güvenli olmasının nedenleri özetle:

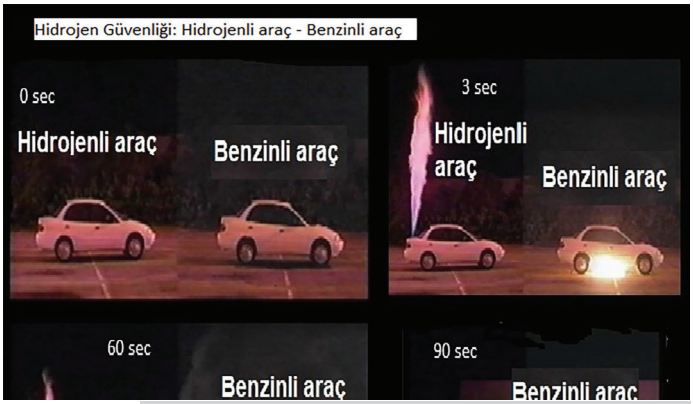
- Havadan 14 kat hafif olduğundan hızla yayılarak zararsız hale gelmesi;
- Hidrojen deposu delinmesi durumunda 35-40 cm yakına gelmeden ateş almaması;
- Yandığı zaman sadece saf su oluşturması;
- Yanabilmesi için havadaki konsantrasyonun en az % 4 olması;
- Odun, kömür, benzin gibi etrafa ısı yaymaması;
- Araçların egzozundan zehirli gaz ve kanserojen parçacıklar yerine saf su çıkarmasıdır.

Hava içinde alev alma sınırı, patlama enerjisi, alev sıcaklığı ve atık ürün gibi parametreler göz önüne alındığında, fosil yakıtların emniyet faktörlerinin 0.5-0.80 arasında olmasına karşın, hidrojen için, daha yüksek (1 civarında) bir emniyet faktörü bulunmuştur. Bu bulgular, hidrojenin diğer yakıtlara göre daha emniyetli olduğunu açıkça göstermektedir. Hidrojenin güvenliği ile ilgili yapılan bir deney Şekil 14'te gösterilmiştir (Türe, 2021: par. 26).

Hidrojenin Depolanması

Hidrojenin yakıt olarak kullanılmasındaki en büyük sorun depolanmasındaki verim yetersizliğidir. Hidrojen genelde; a) Sıkıştırılmış halde b) Sıvı halde ve c) Kimyasal bağ oluşturmuş halde, olmak üzere üç farklı yolla depolanabilmektedir. Sıkıştırılmış ve sıvı hidrojen saf halde tanklarda depolanabileceği gibi, fiziksel olarak nano-tüplerde de depolanabilmektedir.

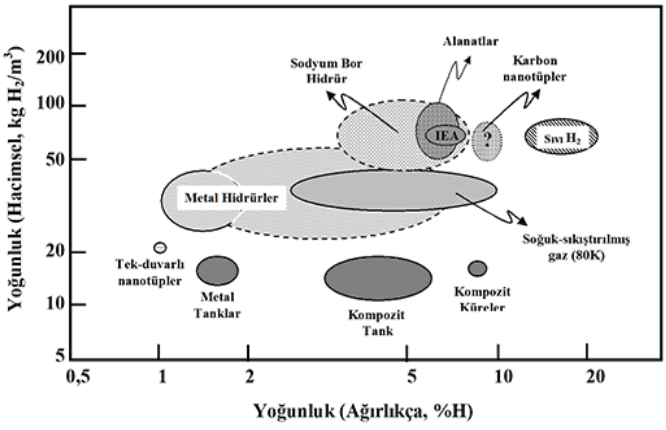
Şekil 14. Hidrojenli ve Benzinli Araçların Yangın Durumunda Karşılaştırılması



Kaynak: Parsons, 2020.

Kimyasal olarak ise genellikle hidrür şeklindedir. Hidrür formunda depolama, katı halde metallerde olabileceği gibi sodyum bor bileşiğindeki gibi sıvı halde de olabilmektedir. Araştırmalar, bazı alaşımların saf haldeki hidrojenden çok daha yüksek yoğunlukta hidrojen depolayabildiklerini göstermiştir (Türe, 2021: par. 27). Farklı depolama yöntemleri ile elde edilebilecek hacimsel ve gravimetrik hidrojen yoğunluk değerleri Şekil 15'te verilmektedir.

Şekil 15. Hidrojende Depolama Şekilleri ve Elde Edilebilen Hacimsel ve Gravimetrik Yoğunluk Değerleri



Kaynak: Ewald, 1998.

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) ve A.B.D. Enerji Bakanlığı otomotiv uygulamaları için hedef değerleri; kapasite için: >% 5-6, geri bırakım sıcaklığı için: <150 °C ve kullanım ömrü için: >1000 dolum olarak tespit etmişlerdir (Schulz, vd., 1999).

Hidrojenin depolanmasında güvenilirlik ve hafifliğin önemli olması, hidrojenin hidrür yapısında depolanmasını ön plana çıkarmaktadır (Bilici, 2004). Şekil 15'te de görüldüğü gibi "özellikle birim hacimde depolanabilecek hidrojen açısından hidrürler gaz veya sıvı depolamada önemli bir üstünlüğe sahiptirler (Bilici, 2004).

Hidrojenin Metal Hidrürlerle Depolanması

Hidrojenin metal hidrür olarak magnezyumda depolanması konusunda olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Güvendiren, vd., 2004). Bu çalışmalarda %6'lık depolama kapasitesine erişilmiş, ancak geri bırakım sıcaklığı hedef değerlerin üzerinde kalmıştır. Zehirlenmeye karşı direnç açısından sistem, iyileştirmelere gerek duymaktadır (Güvendiren, vd., 2003). Halen çalışmalar yukarıda belirtilen hedef değerler doğrultusunda Mg-Al-B sistemi esasında sürdürülmektedir. Hidrojenin, yine metal hidrür olarak Mg2Ni ve benzer sistemlerde depolanması Osmangazi Üniversitesinde ve LaNi5'te hidrojen depolamanın ısı açısından numerik modellenmesini konu alan çalışmalar ise Niğde Üniversitesinde sürdürülmektedir (Mat & Kaplan, 2001).

Hidrojenin Bor Hidrürlerle Depolanması

Sodyum bor hidrür ($NaBH_4$), güçlü bir indirgeyici olup, birçok organik ve inorganik bileşikler ile reaksiyona girebilmekte ve diğer bor hidrürlere oranla birim hacimde daha fazla hidrojen atomu içermektedir. Yıllardır sanayinin çeşitli kesimlerinde farklı amaçlar için kullanılmasına rağmen hidrojen taşıma kapasitesi ve bor içeren bir bileşik olması,

sodyum bor hidrürün son zamanlarda çok daha iyi bilinir bir bileşik haline gelmesine yol açmıştır (Bilici, 2004).

Sodyum bor hidrür, ilk olarak Schlesinger prosesi olarak bilinen yöntem ile aşağıdaki eşitlikte görüldüğü gibi borik asidin metanol ile trimetil borata ($B(OCH_3)3$) dönüşmesi ve daha sonra sodyum hidrür ile indirgenmesi sonucunda elde edilmiştir.

$$B(OH)3 + CH_3OH \rightarrow B(OCH_3)3 + 4NaH \rightarrow NaBH_4 + 3NaOCH_3$$

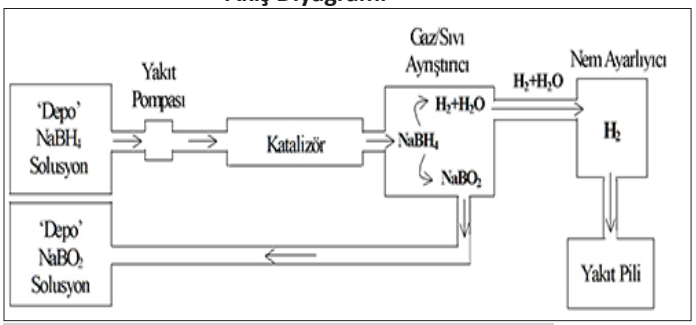
Eşitlikteki stokiyometrik oranlar incelendiğinde, gerekli sodyumun %75'inin bir yan ürün olan sodyum metokside dönüştüğü görülmektedir. Bu verim düşüklüğü, yöntemin daha büyük ölçekte uygulanabilirliğini engellemekte ve sodyum bor hidrür üretim maliyetini etkileyen en büyük faktör olmaktadır (Ortega, 2003). Dünya sodyum metalinin %66'sı ABD'de, % 14'ü İngiltere'de, geri kalanı ise Almanya, Fransa, Japonya ve Rusya'da üretilmektedir. Yıllık sodyum metali üretimi 250 bin tondur.

Sodyum bor hidrür ile su reaksiyona girdiğinde aşağıdaki ekzotermik reaksiyona uygun olarak hidrojenin ağırlıkça %10.8'i açığa çıkmakta ve yan ürün olarak sodyum metaborat ($NaBO_2$) üretilmektedir (Li, vd., 2003).

$$NaBH_4 + 2\,H_2O \xrightarrow{\text{Katalizör}} NaBO_2 + 4H_2 \qquad \Delta H = -218\ kJ.mol\text{-}1$$

Görüldüğü gibi reaksiyon sonucu açığa çıkan hidrojen miktarı hidrür şeklinde bağlı olan hidrojenin iki katı olup, 4 mol H $NaBH_4$'den, 4 mol H ise H_2O'dan gelmektedir. Reaksiyonun ekzotermik olması nedeniyle sistemden elde edilen hidrojen nemlidir ve kullanılacağı ortama bağlı olarak hidrojen gazının, nem miktarını düzenleyici bir sistemden geçirilmesi gerekmektedir.

Şekil 16. Otomotiv ve Benzer Uygulamalar İçin Sıvı Esaslı Sodyum Bor Hidrür Sistemindeki Akış Diyagramı



Kaynak: Güvendiren & Öztürk, 2003.

Sodyum bor hidrür kullanımının bazı avantajları şunlardır;

- Reaksiyonun kontrol edilebilirliği çok yüksektir (katalizörün ortamdan uzaklaştırılması ile reaksiyon durmaktadır, Örn. Rutenyum, platin vb.).
- Reaksiyon oda sıcaklığı ve basıncında oluşmaktadır (hidrojenin serbest hale geçmesi için ek bir enerjiye gereksinim yoktur).
- Küçük miktardaki hidrojen üretimi için diğer yöntemlere göre çok daha basit ve ucuz bir yöntemdir.
- Reaksiyon hızı oldukça kararlı olup, H_2 üretimi yavaş ve kararlıdır. Katalizörler pek çok kez kullanılabilmektedir.

Sodyum metaborat yeniden sodyum bor hidrür üretiminde kullanılabilmektedir.

İçten yanmalı motorlarda yapılacak küçük bir değişiklik ile bu şekilde üretilen hidrojen gazı, araçlarda yakıt olarak kullanılabilmektedir. Sodyum bor hidrür kullanılarak araçların yakıt sistemleri için gerekli olan sıvı esaslı sodyum bor hidrür sisteminin akış diyagramı Şekil 16'da şematik olarak gösterilmektedir.

Sodyum bor hidrür, $NaBH_4$, beyaz görünümlü, toksik olmayan, kuru halde 300°C'ye kadar kararlı bir bileşiktir. Toz halinde, granül şeklinde veya NaOH'te %12'lik çözelti halinde bulunabilir. Sodyum

Şekil 17. Kimyasal Hidrürlerin Kıyaslaması

Kaynak: International Journal of Hydrogen Energy, 2019.

bor hidrür çözeltisinin raf ömrünü uzatmak için bu çözeltilere sodyum hidroksit (NaOH) eklenir. Normal saklama koşullarında, %12'lik NaOH'teki $NaBH_4$ çözeltisinin yıllık kaybı % 0.1'den daha azdır.

Sodyum bor hidrür, hidroskopik yapısı dolayısıyla havadaki nem ile temas ettiğinde yavaşça sodyum metaborat ve hidrojene bozunur. $NaBH_4$'den hızlı ve kontrollü biçimde hidrojen üretimi asidik bileşikler veya rutenyum, nikel, kobalt, platin gibi katalizör görevi gören metallerin ilavesiyle gerçekleşebilir. Sodyum bor hidrür çözeltisinin katalizör kullanılarak verdiği ekzotermik hidroliz reaksiyon sonucu 2.37 litre H_2 /g $NaBH_4$ açığa çıkar. Açığa çıkan hidrojenin yarısı sodyum bor hidrürden, diğer yarısı da sudan gelmektedir. Bu nedenle konsantre sodyum bor hidrür çözeltisinden açığa çıkan hidrojen içeriği oldukça yüksektir ve ağırlık başına enerji içeriği bakımından diğer bilinen mobil hidrojen depolama teknolojileri ile rahatlıkla rekabet edebilir. Sodyum bor hidrürden hidrolizle üretilen teorik hidrojen kapasitesi ağırlıkça %10,8'dir.

Maddelerin kütle bazlı H-kapasiteleri, depolama kapasitesi ölçütü olarak kullanılagelmiştir. $NaBH_4$ birçok hidrojen alaşımından daha fazla hidrojen depolama özeliğine sahiptir (Şekil 17). Ayrıca, araştırmalar sodyum bor hidrürün en yoğun sıkıştırılmış hava tankından daha fazla hidrojen tutabilme özelliğine sahip olduğunu göstermiştir (Andersson & Grönkvist, 2019).

Sodyum Bor Hidrür Sentez ve Hidroliz Maliyetleri

Bayer prosesi sodyum bor hidrür sentezinde en çok kullanılan ticari prosestir. Bu proseste belirli miktarlardaki susuz boraks, sodyum metali ve kuartz, 3 atm hidrojen basıncı altında, 500°C'de karıştırıcı tipli otoklavda 2-4 saat ısıtılır. Reaksiyon ürününün amonyak ile ekstraksiyonundan ve amonyağın evaporasyonundan sonra yüksek bir verimle $NaBH_4$ elde edilir. İkincil ürün olarak da sodyum metasilikat oluşur. Reaksiyon aşağıda verilmiştir:

$$1/4\ Na_2B4O_7 + 4Na + 2H_2 + 7/4\ SiO_2 \rightarrow NaBH_4 + 7/4\ Na_2SiO_3$$

$$\Delta G^o\ (298) = -411.3\ kJ/mol\text{-}NaBH_4 \quad ; \Delta H^o\ (298) = -541.348\ kJ/mol\ NaBH_4$$

Reaksiyona giren hammaddelerin ve reaksiyon ürünlerinin entalpileri reaksiyon sıcaklığında hesaplanarak reaksiyon için gereken enerji maliyeti 1kg sodyum bor hidrür üretimi için yaklaşık 2/kg ABD Doları olarak hesaplanmıştır. Ancak bu hesaplamada ideal koşullar varsayımı yapılmış ve yan ürünün sistemden uzaklaştırılması için gereken enerji maliyeti de göz önüne alınmamıştır. Bayer prosesi için gerekli hammaddelerin maliyetleri ise 1 kg $NaBH_4$ üretimi için minimum $10'dır.

Sodyum bor hidrürün hidroliz reaksiyonu için gerekli sodyum bor hidrür yukarıdaki gibi Bayer prosesi ile üretildikten sonra hidrolizde kullanılacak ise, 1 kg H_2 sentezi için gereken $NaBH_4$ maliyeti ideal şartlarda yaklaşık $50'dır. Ancak bu reaksiyonda rutenyum gibi bir katalizör de kullanılmalıdır. Katalizör türüne göre, sodyum bor hidrürden 1 kg hidrojen eldesi maliyeti $80/kg'ı bulmaktadır ve bu maliyet katalizör türüne

ve miktarına göre daha da yükselebilmektedir. Ancak şu da belirtilmelidir ki $NaBH_4$ sistem içinde Bayer prosesiyle üretilmeyip, $47'dan satın alınırsa bunun maliyeti $222'ı bulmaktadır ve buna katalizör maliyeti de ilave edilirse hidroliz reaksiyon maliyeti yaklaşık $260'ı bulacaktır (Türe, vd., 2006).

Hidroliz sonucunda hidrojenin yanında açığa çıkan sodyum-metaboratın tekrar sodyum bor hidrüre dönüştürülerek sisteme verilmesi sistem döngüsünün devam etmesi bakımından önemlidir. Yapılan araştırmalar, $NaBH_4$ geri dönüşümünün MgH_2 kullanarak (Amendola vd., 2000) dinamik hidrürleme/dehidrürleme prosesi ile veya Mg2Si kullanılarak gerçekleştirilebileceğini göstermiştir. Bu çalışmada Mg2Si kullanılarak, $NaBO_2$'den $NaBH_4$'e geri dönüşüm reaksiyon maliyeti yaklaşık $15/kg H_2 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, tüm bu maliyetler bir araya getirilerek, ideal şartlarda, sistem kayıpları dikkate alınmadan sodyum bor hidrürün sentezinden, hidrojen sentezi ve sodyum metaboratın sodyum bor hidrüre geri dönüşümü de hesaba alınarak bulunan toplam maliyet yaklaşık US$ 110/kg H_2 olarak belirlenmiştir. Ancak yukarda da belirtildiği gibi sodyum bor hidrür sistem içinde üretilmeyip satın alındığı takdirde bu maliyet yaklaşık $290/kg H_2 olacaktır (Türe, vd., 2006).

Hidrojen Enerjisi Uygulamaları

Bir yakıtın her yerde, örneğin sanayide, evlerde, taşıt araçlarında kullanılabilmesi büyük önem taşımaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan yakıtlarla bakıldığında, bunların birçoğunun ancak belirli uygulamalar için kullanılabildiğini görmekteyiz. Kömürü, otomobillerde veya uçaklarda kullanmak pratik açıdan uygun değildir. Hidrojeni ise, hemen her yerde kolaylıkla kullanmak mümkündür. Evlerde, ısıtma amacı ile kalorifer, fırın ve şofbenlerde doğalgaz yerine rahatlıkla kullanılabilmektedir. Hidrojen fosil yakıtların aksine yalnız alevli yanma ile değil katalitik yanma, kimyasal, elektro-kimyasal yolla üretim gibi çok farklı çevrimlerle enerji verebilmektedir.

Hidrojen yakıtının içten yanmalı motorlar yanında yakıt pilleri ile elektrik üreterek araçlarda yüksek verimli kullanım sağlaması ile otobüs, kamyon, otomobil, traktör ile tarım makineleri gibi tüm taşıt araçlarında kullanılması mümkündür.

Hidrojenden elektrik üretimi için kullanılan yakıt pillerinin günümüzde ve gelecekte çok önemli bir yeri olduğundan bu konu daha ayrıntılı olarak aşağıda verilmiştir. Hidrojen, yakıt pillerinde veya taşıtlarda benzin yerine, evlerde kalorifer, fırın ve şofbenlerde doğalgaz yerine kullanılabilmektedir. Günümüzde hidrojen artık cep telefonlarından uçaklara kadar hemen her yerde kullanılmaktadır. Yakıt pilleri ile yüksek verimde elektrik üretilebildiği için bu pillerin kullanım alanları çok geniştir. Şekil 18'de ise yakıt pilleri ile çalışan araç ve ürünlerden bazıları gösterilmiştir. Bunlar arasında; otomobilleri, otobüsleri, motosikletleri, bisikletleri, golf arabalarını, fork liftleri, hizmet araçlarını, elektrik

Şekil 18. Hidrojenin Kullanım Alanları

Tablo 4. Yakıt Hücrelerinin Genel Ticari Kullanım Alanları

Yakıt Hücresi	Yakıt Türü	Elektrolit	İşletim Sıcaklığı (°C)	Transfer Molekülü	Kullanım Alanları
Polimer Elektrolit Zarlı (PEM)	H_2	Polimer	60-100	H^+	Sabit, portatif ve hareket eden sistemler
Doğrudan Metanol (DMFC)	Metanol	Polimer	50-120	H^+	Portatif sistemler
Alkali (AFC)	H_2	Potasyum hidroksit	50-100	OH^-	Sabit ve hareket eden sistemler
Fosforik asit (PAFC)	H_2	Fosforik asit	175-200	H^+	Sabit sistemler
Ergimiş karbonat (MCFC)	Doğal gaz, LPG, dizel	Lityum – Potasyum karbonat	600-1,000	CO_3^-	Sabit sistemler
Katı oksitli (SOFC)	Doğal gaz, LPG	Zirkon	600-1,000	O_2^-	Sabit sistemler

Kaynak: Xiao, 2021.

yedek ünitelerini, uçakları, lokomotifleri, denizaltıları vb. araçları saymak mümkündür. Hidrojen sanayide ise margarin yapımından, metal işlemeye kadar çok çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yakıt Pilleri

Yakıt pilleri yüksek verimli elektrokimyasal enerji dönüşüm cihazları olarak tarif edilir ve temel olarak anot ve katot arasına yerleştirilmiş elektrolitten oluşur. Yakıt olarak kullanılan hidrojenin oksijen ile kimyasal reaksiyona girmesi sonucunda elektrik üreten bu cihazlar geleceğin enerji üretim kaynağı olarak görülmektedir. Atık olarak saf su üretmesi, çevre kirliliğine, gürültüye neden olmaması ve hareketli parça içermemesi yakıt pilinin başlıca avantajları arasındadır. Yakıt pilleri genellikle hücrede kullanılan elektrolit türüne bağlı olarak polimer elektrolit (PEM), alkali, fosforik asit, ergimiş karbonat ve katı oksit yakıt pili olarak sınıflandırılmaktadır. PEM yakıt pili özellikle taşıtlarda kullanılmaktadır. Yakıt pilleri otomobillerde kullanılan geleneksel içten yanmalı sistemlerden daha enerji etkindir ve kesinlikle çok daha az kirlilik oluşturmaktadır. Bununla birlikte, otomobil uygulamaları için sistem büyüklüğü, ağırlığı, işletime alma süresi, işletim ömrü ve fiyatı, iyileştirilmesi gereken önemli konulardır.

Yakıt hücresi, hidrojenin kullanımında önemli bir yer tutmaktadır. Yakıt hücresi sistemleri taşınabilir şekilde kullanılabildiği gibi, ulaşımda, hareketli sistemlerde ve sabit uygulamalarda da kullanılması mümkündür. Yakıt hücreleri genel olarak elektrik enerjisinin ihtiyaç duyulduğu her yerde kullanılabilmekle beraber, genel olarak ticari kullanımı Tablo 4'teki gibidir (Xiao, 2021). Taşınabilir uygulamalara; cep telefonu, dizüstü bilgisayar, dijital fotoğraf makinesi, kamera bataryaları, sabit uygulamalara; jeneratörün ve kesintisiz güç kaynaklarının kullanıldığı hastaneler, iş yerleri, evler, bilgisayar ağları örnek gösterilebilir. Ulaşım sektöründe dünyanın önde gelen otomobil

üreticileri, yakıt hücresi ile çalışan otomobil, otobüs prototiplerinin üretimini tamamlamışlardır. 1MW'lık lokomotif için de 2003 yılı içinde beş yıllık bir proje başlatılmıştır. Ayrıca madencilikte emniyetli olması nedeniyle yakıt hücresi kullanımına başlanmıştır.

PEM (Proton Exchange Membrane-Polymer) Yakı Pili

Proton Exchange Membrane veya PolymerElectrolite Membrane olarak da bilinen PEM Yakıt pilleri özellikle ABD, Japonya ve Almanya'da taşıtlarda kullanım için geliştirilmiş bir yakıt pili türüdür. İlk önemli uygulaması, GE tarafından 1 kW çıkışlı bir PEM yakıt pilinin Gemini uzay araçlarında kullanılmasıdır. Yan ürün olarak üretilen saf su da astronotlar tarafından içme suyu olarak kullanılmıştır. Son 5 yıldır PEM yakıt pillerinin hem maliyetinde hem de performansında iyileşme sağlayacak çalışmalarda büyük bir artış olmuştur (Wilkinson & Steck, 1997).

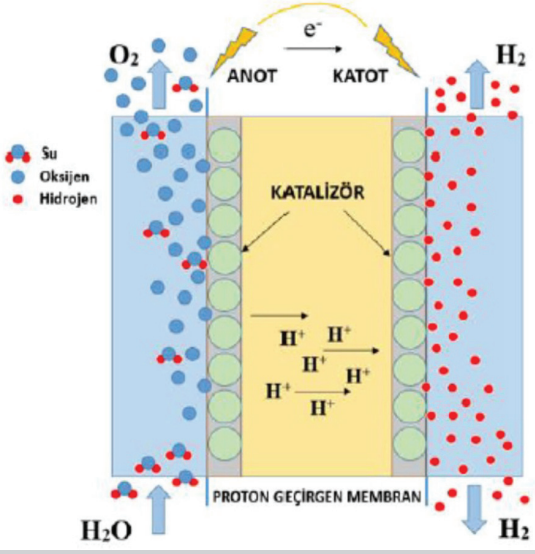
Komple yakıt pili sistemlerinin birçok taşıma uygulamaları (şehir içi toplu taşıma otobüsleri ve yolcu otobüsleri dahil olmak üzere) için kullanılabildiği gösterilmiştir. Son çalışmalar maliyet düşürme ve katalizör, membranlar ve bipolar plakaların büyük miktarlarda üretimi konularında yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalar; güç yoğunluğunu artırma, su yönetimini iyileştirme, ortam koşullarında işletim, dönüştürülmüş yakıta toleransı artırma ve modül ömrünü artırma konularındaki çalışmalarla da kesişmektedir. Örnek bir PEMYP hücresinin şeması Şekil 19'da gösterilmektedir.

PEM'de diğer yakıt pillerinde olduğu gibi yakıt pil modülü, gaz geçirgenliği yüksek ve elektrolitle temasta olan iki elektroda sahip olup, gaz yakıt, anottan sürekli olarak beslenirken oksitleyici gaz da katottan sürekli olarak beslenmektedir. PEM elektrot reaksiyonlarında ise yakıttan gelen H_2 anotta H+'ya dönüştürülür. H+, polimer elektrolit membrandan geçerek katotta O_2 ile birleşir ve su üretilir. İşletim sıcaklığı 80°C civarındadır.

Membranın elektrolit olarak, anot ile katot arasındaki iyonik iletişimi sağlamak ve reaksiyona giren iki gazı ayırmak olmak üzere iki görevi bulunmaktadır. Günümüzde kullanılan standart elektrolit malzemesi DuPont tarafından 1960'ların ortasında uzay uygulamaları için üretilen teflon kökenli malzeme olan Nafion'dur.

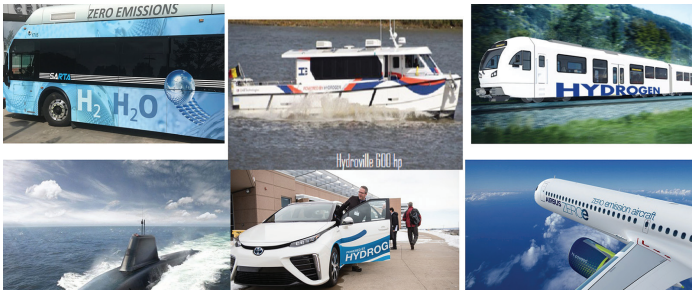
PEM hücresi içinde kullanılan elektrotlar tipik gaz difüzyon elektrotlarıdır ve hidrojen gazını proton ve elektronlarına ayırır. Katalizör tabakası 5-50 m kalınlığındadır ve 2-4 nm çapında Pt mikro kristaller içerir. Günümüzde Pt hem anot hem de katot reaksiyonları için uygun katalizör olarak belirlenmiştir. Ancak pahalı olduğundan birçok yöntem kullanılarak minimum miktarda kullanılmaya çalışılmaktadır. PEM hücrelerin çoğunda, akım toplama ve dağıtma, gaz dağıtımı ve ısıl yönetim için karbon/grafit plakalar

Şekil 19. PEM Yakıt Pili Şeması



Kaynak: NIST, 2004.

Şekil 20. Hidrojenle Çalışan Araçlar



kullanılmaktadır. Bu tabaka ~350 m kalınlığındadır ve bir tarafına katalizör tabakası tutturulmuştur.

Doğrudan Metanol Yakıt Pili

PEM yakıt pilinin bir çeşidi olarak da kabul edilen bu piller üzerindeki ilk çalışmalar 1960-70'li yıllarda Shell ve ESCO-Exon tarafından yapılmıştır. Doğrudan metanol kullanımının Pt-Ru katalizör üzerindeki olumsuz etkisi ve anottaki aşırı gerilimi nedeniyle düşük akım yoğunluğu elde etmişlerdir. 1990'lı yılların başlarında elde edilen verimin %25'in altında olması nedeniyle göz ardı edilen bu piller için araştırmalar sürdürülmektedir. Doğrudan Metanol Yakıt Pili çalışma ilkesi PEM piline benzemektedir. PEM'de olduğu gibi elektrolit olarak asidik katı polimer Nafion, elektrot olarak Pt-Pd bindirilmiş karbon kullanılmaktadır. Bu pilleri PEM'den ayıran en önemli özellik, yakıt metanol/etanolün yakıt dönüştürücü gerekmeksizin doğrudan kullanılabilmesi ve yakıt işleme birimi içermediğinden diğer türlere göre daha az karmaşık, daha hafif ve daha ucuz olmasıdır.

Alkali yakıt pili

Alkali yakıt pilinde düşük sıcaklık (120°C'de) uygulamalarında elektrolit olarak %35-50 KOH kullanılmaktadır. Uzay aracı Apollo'da kullanılan yüksek sıcaklık (250°C'de) alkali yakıt pilinde ise elektrolit olarak %85 KOH kullanılmıştır. Düşük sıcaklıklı alkali sistemler oda sıcaklığında da çalışabilir ve diğer tüm yakıt pili sistemleri arasında en yüksek voltaj verimine sahiptir. Hücre ve elektrotlar düşük maliyetle karbon ve plastiklerden üretilebilir. Birçok malzemeye iyi uyum sağlayabildiğinden 15,000 saat gibi uzun bir ömre sahiptir. Ayrıca bu yakıt pilleri için bulunabilecek Ni, Ag, metal oksitler gibi birçok katalizör seçeneği bulunmaktadır.

Fosforik asit yakıt pili

Eğer uzay uygulamalarında kullanılan alkali yakıt pili sayılmazsa günümüzde ticarileşmeye en yakın yakıt pili Fosforik Asit Yakıt Pilidir. Elektrolit olarak %100'lük fosforik asidin kullanıldığı bu yakıt pili 150-220 °C'de çalışmaktadır. Elektrolit olarak görev yapan fosforik asit, elektrotlar arasında gözenekli bir tabakada sabitlenmiştir. Hem anot hem de katot gaz difüzyon elektrotlarıdır. Düşük sıcaklıklarda fosforik asidin kötü bir iletken olması nedeniyle bu yakıt pili yüksek sıcaklıklarda çalıştırılır. Bu dezavantajın yanı sıra fosforik asit bir elektrolit olarak birçok avantaj sağlamaktadır. Bunlar arasında, mükemmel ısıl, kimyasal ve elektrokimyasal kararlılığı ve 150°C'nin üzerinde diğer inorganik asitlerden göreceli olarak daha düşük uçuculuğa sahip olmasını saymak mümkündür.

Ergimiş karbonat yakıt pili

Ergimiş karbonat yakıt pili 600-650 °C gibi oldukça yüksek sıcaklıklarda çalışır ve son dönemlerde geliştirilen ikinci jenerasyon yakıt pillerindendir, bir başka deyişle, ticarileştirilmeden önce çok fazla geliştirilmeye ihtiyacı vardır. Elektrolit olarak alkali karbonatların karışımı, örneğin (Na ve K) veya Li_2CO_3-K_2CO_3 karışımı kullanılmaktadır. Bu elektrolit seramik bir matris yapısı içine tutturulmuştur. Hücrenin, kolay bulunabilen metal levhalardan baskı tekniği ile üretilebilmesi, hücre reaksiyonlarında pahalı olan değerli metal katalizörler yerine Ni katalizörün yeterli olması,

CO'in doğrudan kullanılabildiği bir yakıt türü olması, hücrede açığa çıkan buharın türbinlerinde veya kojenerasyon uygulamalarında kullanılabilecek kadar yüksek sıcaklıkta bulunması avantajları olarak sayılabilir. Ancak Ergimiş Karbonat yakıt pilinin, yüksek sıcaklıkta çalışması ile korozyona neden olması ve dolaysıyla hücre bileşenlerinin ömrünün azalması gibi dezavantajları vardır.

Katı oksitli yakıt pili

Katı oksit elektrolit, bazı özel yararları nedeniyle endüstriyel uygulamalar için çekici olmaktadır. Elektrolit olarak gözeneksiz metal oksitler, %8-10 (mol) Y_2O_3 içeren ZrO_2 kullanılmaktadır. Saf zirkon yalıtkan olduğu halde Y_2O_3 ilavesiyle iletkenlik özelliği göstermektedir. ZrO_2 yerine CeO_2 kullanımı işletim sıcaklığını düşürebilecektir. Bu yakıt pilinde de diğer yakıt pillerinde olduğu gibi gözenekli gaz difüzyon elektrotları kullanılmaktadır. Anot ve katot olarak önceleri gözenekli Pt kullanılmaktayken son dönemlerde anot olarak Ni-ZrO_2 (Y_2O_3 içeren) veya CO-ZrO_2, katot olarak ise Sr yüklenmiş $LaMnO_3$ kullanılmaktadır. Çok yüksek sıcaklıklara (1000°C) çıkmak mümkün olduğundan, düşük sıcaklık uygulamalarındaki gibi pahalı katalizör kullanımına gerek kalmadan yakıt, doğrudan yakıt pilinde kullanılabilmektedir. Gaz geçişi düşük, elektrolitin elektronik iletkenliği yüksek olduğu için bu piller açık devrede teorik voltajın en az % 96'sını verebilmektedir. Katı oksit yakıt pillerinin

Tablo 5. Yakıt Pillerinin Türleri ve Özellikleri

Yakıt Pili Cinsi	Elektrolit	İşletim sıcaklığı, [°C]	Ort. Verim [%]	Uygulama Alanları
Alkali	Potasyum hidroksit	50-100	60	Uzay gemileri, kesintisiz güç kaynağı
Polimer Elektrolit Membranlı	Katı polimer	50-125	70	Uzay gemileri, taşıtlar, güç kaynağı
Fosforik Asit	Ortofosforik asit	180-210	55	Kojenerasyon sabit güç, taşıtlar
Ergimiş karbonat	Lityum-potasyum karbonat	630-650	50	Kojenerasyon sabit güç
Katı oksitli	Kararlı hale getirilmiş zirkon	900-1,000	65	Kojenerasyon sabit güç
Doğrudan Metanol	Sülfürik asit veya polimer	50-120	35	Düşük güçler, bilgisayar, cep telefonu vb.

Kaynak: Fuel Cell Today Industry Review, 2008.

avantajları arasında, katı elektrolitin çok kararlı olması nedeniyle hücrenin çalışma koşullarında diğer elektrolitler gibi sorun çıkarmaması, sıvı faz olmadığından ara yüzey sorunları, gözeneklerden su taşması, katalizörü ıslatmanın gerekliliği gibi problemler de bulunmaması sayılabilir. Genel bir karşılaştırma için Tablo 5'te yakıt pillerinin türleri ve özellikleri verilmiştir.

Hidrojen Enerjisinin Mevcut Kullanım Alanları

Enerji taşıyıcısı olarak hidrojenin hemen her alandaki uygulamaları artık gayet iyi bilinmektedir. Bunların yakında daha da artması kaçınılmazdır.

Toyota tarafından geliştirilen H_2City Gold modeli otobüsün tavanına yerleştirilen ve toplam kapasitesi 37.5 kg olan 5 hidrojen tankı ile 400 km yol gidebilmektedir. Yakıt tankları 8 dakikadan kısa bir sürede doldurulabilen otobüs, sadece su buharı salarak çevreci kimliğini ortaya koymaktadır.

Günümüzde hemen tüm otomobil firmalarının hidrojen yakıtı ile çalışan araçları mevcut olup, önümüzdeki yıllarda üretimlerini hızla arttıracağı açıklanmıştır. Shell, BP gibi büyük petrol şirketleri de hızla hidrojen dolum istasyonları açmaktadırlar (Şekil 21).

Hidrojenin Deniz Taşıtlarındaki Uygulamaları

Son yıllarda iklim değişikliği ve deniz kirlenmesi konularına artan farkındalık nedeniyle, özellikle İsveç, Norveç gibi kuzey ülkelerinin limanlarına artık petrol türevi yakıtlarla çalışan gemilere kısıtlama getirilmiş ve gemilerde hidrojen gibi temiz yakıt kullanılması teşvik edilmeye başlanmıştır. Hidrojenli deniz taşıtlarına örnekler Şekil 22'te gösterilmiştir.

Türkiye'deki ticari gemi işletmecileri ve tersane sahipleri de bu bağlamda hidrojen yakıtı kullanımı için çalışma başlatmışlardır. Dünya'da halen hidrojen yakıtı ile çalışan bir çok gemi bulunmakta ve bunların sayısı giderek artmaktadır. Aşağıda halen dolaşımda olan hidrojen yakıtlı gemiler gösterilmiştir.

Hidrojen/oksijen yakıt hücreleri (özellikle PEMFC gibi düşük sıcaklık yakıt hücreleri) denizaltılarını çalıştırmak için ideal özelliklere sahiptir. Havaya ihtiyaçları yoktur, yakıt (hidrojen) ve oksit (oksijen) depolanması durumunda deniz altında işleyebilir. Su dışında

Şekil 21. Hidrojen Dolum İstasyonları

Şekil 22. Hidrojenli Deniz Taşıtları

hiçbir emme ya da atık madde üretmezler, bu sebeple de sıfır kaldırma gücünü korurlar. Hareket eden parçaları olmadığından, sonar (deniz radarı) işaretini azaltarak sessizce işlerler. Düşük sıcaklıkta ısı salarlar ve de böylelikle çok az miktarda termal izler üretirler. Çok verimlidirler. Uzun deniz gezileri ve az zaman kaybı sağlarlar.

Hidrojenle Çalışan Uçaklar

Sıvı hidrojenin, ticari subsonik ve süpersonik uçaklarda yakıt olarak birçok avantajı vardır. Sıvı hidrojenin en önemli avantajı, geleneksel jet yakıtlarının enerji içeriğinden 2.8 kat daha fazla olan yüksek enerji içeriğidir (142 MJ/kg). Bu sebeple, sıvı hidrojenle çalışan bir uçak, geleneksel uçağın kütlesinin üçte biri kadar daha az yakıt taşımak durumundadır. Hidrojenle çalışan bir subsonik yolcu uçağı, normal bir uçakla karşılaştırıldığında aynı uçuşu tamamlamak için ortalama %16 daha az yakıta (enerji açısından) ihtiyaç duyar. Bu avantaj, süpersonik bir uçakta daha da yüksek olacaktır (%28). Airbus ve Boeing firmaları hidrojen yakıtlı uçaklar üzerinde yoğun çalışma yapmaktadırlar.

Genel düşünceye rağmen hidrojen, hava taşımacılığı için daha güvenli bir yakıttır ve şu anda da jet yakıtı olarak kullanılmaktadır. Sıvı H_2 yakıtlı bir uçak çarpışmasındaki zarar ve ziyan, standart yakıtlı bir uçak çarpışmasına göre daha az olacaktır. 1988 Nisan'ında, ticari bir hava yolunun uçağının (Tupolev 155), sıvı hidrojenle çalışan üç turbofan motorundan birisinin Sovyetler Birliği'nde demonstrasyonu yapılmıştır. 19 Haziran 1988'de Amerikan pilotu, William H. Conrad, tamamen sıvı hidrojen ile çalışan bir uçağı (Grumman-American "Cheetah") çalıştıran ilk kişi olmuştur (Maniaci, 2008).

Binalarda Hidrojen Uygulamaları

Hidrojen bir alanın ısıtılmasında veya soğutulmasında kullanılabilir. Aynı şekilde, ufak modifikasyonlarla doğalgazın günümüzde kullanıldığı gibi su ısıtmasında da uygundur. Ek olarak, alev yanma yerine, hidrojen, doğrudan ısıtarak ve havayı nemlendirerek katalitik yakıcılarda da kullanılabilir. Daha başka emisyonlar üretilmediğinden bu yakıcılar kapalı mekanlarda da güvenle kullanılabilir. Alan ısıtma ve soğutmasında, dondurucularda, hidrojen kullanımı, hidrojen/hidrojen bileşkesi
soğutma sistemleri şeklinde olacaktır.

Ya alev yanma ya da katalitik yakıcılar yemek pişirmekte kullanılabilir. Yakıcı kapların, hidrojen/hava hızının her zaman hidrojen/hava karışımlarındaki alev yayılma hızından daha fazla olacak şekilde tasarlanması, geri alev yayılmasını engellemek açısından çok önemlidir.

Sonuç ve Öneriler

Hidrojen her açıdan güvenli, temiz ve sonsuz bir yakıt olup, zararlı hiçbir yanı bulunmamaktadır. Bugün için dezavantaj sayılabilecek tek nokta ise henüz yaygın ticari kullanımı olmadığı için fiyatının pahalı olmasıdır ki bu da her yeni teknolojik ürün için geçerlidir. Örneğin cep telefonları veya hesap makineleri gibi teknolojik ürünlerin piyasaya ilk çıktıklarındaki fiyatlarının, şu andaki fiyatlarının onlarca katı olduğu iyi bilinmektedir. Ayrıca petrolün bulunmasından bugüne kadar geçen süre içinde bu sektöre yapılan yatırımın tahmini 160 trilyon (160,000 milyar) Dolar olduğu hesaplanmıştır. Hidrojenin yaygın kullanımı için petrol dolum istasyonlarında hidrojen pompaları kurulması ve tabii büyük miktarda hidrojen üretilmesi gerekmektedir. Bu alandaki çalışmalar birçok ülkede başlamıştır. Örneğin, Nisan 2004 de

Kaliforniya Valisi Arnold Schwarzenegger "Hidrojen Otoyolları" projesi çerçevesinde halen 12 adet olan hidrojen dolum istasyonu sayısını önümüzdeki 6 yılda 200'e çıkartmak için çalışma başlatmış ve bundan böyle her 30 km'de hidrojenli arabalar için dolum istasyonları bulunacağı müjdesini vermiştir (Türe, 2020).

Hidrojen gazı, doğalgaz veya hava gazına benzer şekilde boru hatları vasıtasıyla her yere kolaylıkla ve güvenli olarak taşınabilmektedir. Hidrojenin boru ile taşınmasına, Texas'ta petrol endüstrisi tarafından kullanılmakta olan ve 80 km uzunluğa sahip boru şebekesi ile Almanya'da Ruhr havzasında 1938 yılında işletmeye açılan ve halen 15 atmosfer basınç altında hidrojen taşımaya devam eden, 204 km'lik boru hattını örnek olarak göstermek mümkündür.

Günümüzde hidrojen depolama ve taşıma ortamı olarak büyük bir önem kazanmış olan sodyum bor hidrür, özel bor kimyasalları içinde de önemli bir potansiyele sahiptir. Sodyum bor hidrürün benzer amaçlı diğer bileşiklere oranla daha fazla hidrojen depolayabilmesi, yanıcı ve patlayıcı olmaması, kolay kontrol edilebilir bir reaksiyon ile hidrojenini verebilmesi gibi özellikleri, yeni ve temiz enerji politikaları ile birlikte değerlendirildiğinde ülkemizin zengin bor kaynakları için yaygın ve kalıcı bir tüketim alanı yaratabilecektir. Teknolojik yenilenmesini ve endüstriyel üretim sürecini hızlandırmak zorunda olan Türkiye ilk on yılda hidrojen enerjisine geçiş için bütün yasal ve hukuki zeminleri hazırlamalı ve bu ikincil enerji kaynağını temin edeceği birincil sistemleri kurmalıdır. Daha sonraki aşamada ise bu yakıtın daha verimli depolanabilmesi ve taşınabilmesi için alternatif olarak önerilen hidrür üretim sistemlerini geliştirmeli ve bor'lu yakıt çözeltilerini piyasaya sunacak teknolojiyi hazırlamalıdır. Bu teknolojiler ise elektrik enerjisine dönüşüm için gerekli yakıt hücre sistemleri ile entegre olmalı ve dışa bağımlılıktan kurtulmak için, pahalı bir yöntem olan teknoloji transferi yerine üreten bir ülke olmalıdır.

Türkiye bugüne kadar hızla gelişen teknolojiyi yakalamakta geç kalmış ve devamlı teknoloji ithal eden bir ülke konumuna gelmiştir. Hiç olmazsa enerji alanında bu konumdan çıkma şansı Türkiye'nin önündedir. Türkiye hidrojen enerjisi uygulamaları açısından önemli bir konuma sahiptir. Rüzgâr, güneş, jeotermal, su gibi temiz enerji kaynaklarından hidrojen üretim yöntemleri, bu kaynaklar açısından zengin olan ülkemizde kolaylıkla uygulanabilir. Ancak, öncelikle bu teknolojilerin geliştirilip, uygun maliyetli hale getirilmesi gerekmektedir.

Türkiye'nin enerji alanında dışa bağımlılıktan kurtulması, gelişmiş bir ülke konumuna gelmesi için hidrojen enerjisi fırsatını iyi değerlendirmesi gerekmektedir. Türk toplumunun ilkokuldan başlayarak hidrojen konusunda bilgilendirilmesi, Türkiye'deki bilim adamlarının çalışmalarını hidrojene yönlendirmesi, özellikle yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak hidrojen üretimi çok önemli konulardır. Türkiye'nin sahip olduğu bor minerallerinden sodyum bor hidrürün hidrojenin depolanmasında kullanımı ile ilgili teknolojilerin geliştirilmesi, devletin hidrojen enerjisi çalışmalarına destek olması, hidrojen enerjisi alanında teşvikler vermesi bu teknolojinin bir an önce ülkemizde uygulanmasını sağlayacaktır.

Kaynakça

Adamson, K. A. (2008). Fuel Cell Today Industry Review 2008. Platinum Metals, 52(2), 123.

Amendola, S. C., Sharp-Goldman, S. L., Janjua, M. S., Spencer, N. C., Kelly, M. T., Petillo, P. J., & Binder, M. (2000). A safe, portable, hydrogen gas generator using aqueous borohydride solution and Ru catalyst. International Journal of HydrogenEnergy, 25(10), 969-975.

Andersson, J., & Grönkvist, S. (2019). Large-Scale Storage of Hydrogen. International Journal of Hydrogen Energy, 44(23), 11901-11919.

Bilici, U. (2004). Enerji Taşıyıcısı Hidrojen, Hidrojen Taşıyıcısı Sodyum Borhidrür. Madencilik Bülteni, Maden Mühendisleri Odası, 67, 43-47.

CAB Direct. (2019). Solar Thermal Electrochemical Process (STEP) action to biomass: solar thermo-coupled electrochemical synergy for efficient breaking of biomass to biofuels and hydrogen.https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193075874 adresinden alındı.

Chen, Z., Jaramillo, T. F., Deutsch, T. G., Kleiman-Shwarsctein, A., Forman, A. J., Gaillard, N., Garland, R., Takanabe, K., Hes ke, C., Sunkara, M., McFarland, E. W., Domen, K., Miller, E. L., Turner, J. A., & Dinh, H. N. (2010). Accelerating Materi als Development for PhotoElectrochemical Hydrogen Pro duction: Standards For Methods, Definitions, And Reporting Protocols. Journal Of Materials Research, 25(1), 3-16. https:// doi.org/10.1557/JMR.2010.0020

COSIA. (2017). Hydrogen from Hydrogen Sulphide. https://co sia.ca/sites/default/files/attachments/COSIA%20Hyd rogen%20from%20Hydrogen%20Sulphide.pdf adresinden alındı.

Degens, E. T., & Ross, D. A. (1974). The Black Sea—Geology, Chemistry, and Biology. American Association of Petroleum Geologists. https://doi.org/10.1306/M20377

Dimitrov, P., & Dimitrov, D. (2004). The Black Sea, The Flood And The Ancient Myths. "Slavena", Varna. https://doi. org/10.13140/RG.2.2.18954.16327

Ewald, R. (1998). Requirements for advanced mobile storage sys tems. International Journal of Hydrogen Energy, 23(9), 803-814.

Fujishima, A., & Honda, K. (1972). Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode. Nature, 238(5358), 37-38.

Greenpeace. (2020). New research: Air pollution from fossil fuels costs the world $8 billion every day.https://www.green peace.org/usa/news/new-research-air-pollution-from-fos sil-fuels-costs-the-world-8-billion-every-day/adresinden alındı.

Güvendiren, M., & Öztürk, T. (2003). Enerji kaynağı olarak hid rojen ve hidrojen depolama. Mühendis ve Makina Dergisi, 523.

Güvendiren, M., Akyildiz, H., & Öztürk, T. (2003).Hydrogen Sto rage In Magnesium With Graphite And Sulfur Addition, 569-573.

Güvendiren, M., Baybörü, E., & Öztürk, T. (2004). Effects Of Ad ditives On Mechanical Milling and Hydrogenation of Magne sium Powders. International Journal of Hydrogen Energy, 29(5), 491-496.

Hisatomi, T., Kubota, J., & Domen, K. (2014). Recent advances in semiconductors for photocatalytic and photoelectrochemi cal water splitting. Chem. Soc. Rev., 43(22), 7520-7535. htt ps://doi.org/10.1039/C_3CS60378D

Irena. (2020). Green Hydrogen Cost Reduction. https://irena. org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/ IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf adresinden alındı.

Kamran, M. F. & Rayyan, M. (2021). Fundamentals Of Renewab le Energy Systems: Technologies, design and operation. Else vier Academic Press. ISBN: 978-0-12-823538-6

Kudo, A., & Miseki, Y. (2009). Heterogeneous photocatalyst ma terials for water splitting. Chem. Soc. Rev., 38(1), 253. https:// doi.org/10.1039/B800489G

Lein A.,Y., & Ivanov M., V., (1990).Hydrogen Sulfide Production In Shelf Sediments And Its Balance In The Black Sea . Micro biology, 59 (5) : 921-8.

Li, Z. P., Morigazaki, N., Liu, B. H., & Suda, S. (2003). Preparation of sodium borohydride by the reaction of MgH_2 with dehyd rated borax through ball milling at room temperature. Journal of Alloys and Compounds, 349(1-2), 232-236.

Library. (2022).Development of a New Hybrid Photochemical/ Electrocatalytic Water Splitting Reactor for Hydrogen Produ ction: Design, Analysis and Experiments. https://ir.library. dc-uoit.ca/bitstream/10155/871/1/Baniasadi_Ehsan.pdf ad resinden alındı.

Maniaci, D. (2008). Relative Performance of a Liquid Hyd rogen-Fueled Commercial Transport. 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno, Nevada.

Mat, M. D., & Kaplan, Y. (2001). Numerical study of hydrogen absorption in an Lm– Ni5 hydride reactor. International Jour nal of Hydrogen Energy, 26(9), 957-963.

Naman, S., Ture, I., & Veziroglu, T. (2008). Industrial extraction pilot plant for stripping H_2S gas from Black Sea water. Inter national Journal of Hydrogen Energy, 33(22), 6577-6585. htt ps://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.07.113

National Institute of Standards and Technology (NIST). (2004). PEM Fuel Cells. https://physics.nist.gov/MajResFac/NIF/pem FuelCells.html adresinden alındı.

Nature. (2013). Hydrogen production by Tuning the Photonic Band Gap with the Electronic Band Gap of TiO_2. https:// www.nature.com/articles/srep02849 adresinden alındı.

Nelly Hydrogen. (2022). Alkaline water electrolysis.https://nel hydrogen.com/glossary/alkaline-water-electrolysis/ adresin den alındı.

Nozik, A. J. (1978). Photoelectrochemistry: Applications to Solar Energy Conversion. Annual Review of Physical Chemistry, 29(1), 189-222.

Online Library. (2017).Recent Progress in Energy-Driven Wa ter Splitting. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ advs.201600337 adresinden alındı.

Ortega, J. V., Wu, Y., Amendola, S. C., & Kelly, M. T. (2003). U.S. Patent No. 6,586,563. Washington, DC: U.S. Patent and Tra demark Office.

Parsons, M. (2020). Getting Back to Work…At Work (The HYPER Guide to Returning to the Lab Safely), Washington State University. https://hydrogen.wsu.edu/2020/06/12/getting-ba ck-to-work-at-work-the-hyper-guide-to-returning-to-the-lab-safely/ adresinden alındı.

Protank. (2018). Sodium Hydroxide Storage Tanks & Specifications. https://www.protank.com/sodium-hydroxide adresinden alın dı.

Rubright, S. L. M., Pearce, L. L., & Peterson, J. (2017). Environ mental toxicology of hydrogen sulfide. Nitric Oxide: Biology and Chemistry, 71, 1.

Ruth, J. D., Hayes, L. M., Martin, D. R., & Hatipoglu, K. (2017). An overview of photoelectrochemical cells (PEC): Mimicking nature to produce hydrogen for fuel cells. SoutheastCon 2017, 1-6.

Schulz, R., Huot, J., Liang, G., Boily, S., Lalande, G., Denis, M. C., & Dodelet, J. P. (1999). Recent Developments In The Appli cations of Nanocrystalline Materials To Hydrogen Techno logies. Materials Science and Engineering: A, 267(2), 240-245.

Science Direct. (2019). Biological And Biochemical Hydrogen Production. https://www.sciencedirect.com/science/article/ pii/B9780802227139500148 adresinden alındı.

Shiva Kumar, S., & Himabindu, V. (2019). Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. Materials Scien ce For Energy Technologies, 2(3), 442-454. Doi: 10.1016/j. mset.2019.03.002.

Statista. (2021). Hydrogen production costs worldwide as of 2018, based on production source. https://www.statista.com/statis tics/1132774/global-hydrogen-production-cost-ba sed-on-source/ adresinden alındı.

Tee, S. Y., Win, K. Y., Teo, W. S., Koh, L. D., Liu, S., Teng, C. P., & Han, M. Y. (2017). Recent progress in energy-driven water splitting. Advanced science, 4(5), 1600337.

The Geography of Transport Systems. (2022). The spatial orga nization of transportation and mobility.Energy Density of some Combustibles (in MJ/kg). https://transportgeography. org/contents/chapter4/transportation-and-%20%20%20ener gy/combustibles-%20energy-content/ adresinden alındı.

Tucker, M. (2020). Progress in metal-supported solid oxide elect rolysis cells: A review. International Journal Of Hydrogen Energy, 45(46), 24203-24218.

Türe, İ. E. (2021). Deniz Taşıtlarında Temiz ve Tükenmez Yakıt. https://www.virahaber.com/prof-dr-engin-ture-yazdi-de niz-tasitlarinda-temiz-ve-tukenmez-yakit-hidrojen-60174h. htm adresinden alındı.

Türe, İ. E., Tabakoğlu, F. Ö., & Kurtuluş, G. (2006). Economical aspects of sodium borohydride for hydrogen storage. İstanbul Üniversitesi Dergisi, 1(2), 23-62.

Türe, İ., E. (2001). Hidrojen Enerjisi. Temiz Enerji Vakfı. TÜBİ TAK. ISBN-975-8547-00-3.

Türe, İ., E., (2005). Hydrogen Energy Potential of the Black Sea. World Hydrogen Energy Conference, WHEC Yokohama, Japan.

U.S Department of Energy. (2020). Hydrogen Strategy. https:// www.energy.gov/sites/prod/files/2020/07/f76/USDOE_FE_ Hydrogen_%20Strategy_July2020.pdf adresinden alındı.

United States Department of Energy. (2022) Hydrogen Produ ction: Thermochemical Water Splitting. https://www.energy. gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-thermochemi cal-water-splitting adresinden alındı.

Weber, A., Riess, W., Wenzhoefer, F., & Jørgensen, B. B. (2001). Sulfate Reduction In Black Sea Sediments: In Situ And Labora tory Radiotracer Measurements From The Shelf To 2000m Depth. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Resear ch Papers, 48(9), 2073-2096. https://doi.org/10.1016/S0967-0637(01)00006-1

Wilkinson, D. P., & Steck, A. E. (1997). General progress in the research of solid polymer fuel cell technology at Ballard.

Yuan, X. Z., Nayoze-Coynel, C., Shaigan, N., Fisher, D., Zhao, N., Zamel, N., Gazdzicki, P., Ulsh, M., Friedrich, K. A., Girard, F., & Groos, U. (2021). A review of functions, attributes, pro perties and measurements for the quality control of proton exchange membrane fuel cell components. Journal of Power Sources, 491, 229540.

Zheng, Y., Chen, Z., & Zhang, J. (2021). Solid Oxide Electrolysis of H_2O and CO_2 to Produce Hydrogen and Low-Carbon Fu els. Electrochemical Energy Reviews, 4(3), 508-517. doi: 10.1007/s41918-021-00097-4.

İnsan ve Doğa İçin Müşterek Bir Yaşam Yaratmalıyız*

Xi Jinping

Çin Halk Cumhuriyeti Cumhurbaşkanı

Birleşmiş Milletler (BM), gerçek çoğulculuk bayrağını yüksekte tutmalıdır. Ülkelerin kapsamlı güvenliklerini sağlamaları, kalkınma başarılarını paylaşmaları ve dünyanın geleceği için bir rota çizmeleri için merkezi bir platform olarak hizmet etmelidir. BM, istikrarlı bir uluslararası düzen sağlamaya, uluslararası ilişkilerde gelişmekte olan ülkelerin temsilini ve söz hakkını artırmaya kararlı olmalıdır. BM dengeli bir şekilde ilerlemeli ve üç temel alanda, güvenlik, kalkınma ve insan haklarında çalışmalıdır.

Sayın Başkan,

2021 yılı Çin halkı için gerçekten dikkate değer bir yıl. Bu yıl Çin Komünist Partisi'nin kuruluşunun yüzüncü yılı. Aynı zamanda Çin tarafından ciddiyetle anılan tarihi bir olayın; Çin Halk Cumhuriyeti'nin Birleşmiş Milletler'deki yasal yerinin elde edilişinin 50. yıldönümü. Çin'in, Birleşmiş Milletler ile işbirliğini yeni bir düzeye taşımak için aktif çabalarımızı sürdüreceğiz ve BM'nin yüce amacını ilerletmek için yeni ve daha büyük destekler sağlayacağız.

Sayın Başkan,

Bir yıl önce, ülkelerin liderleri BM'nin 75. yıldönümü sebebiyle katıldıkları üst düzey toplantılarda; COVID-19 ile dayanışma içinde mücadele etme, zorlukların üstesinden birlikte gelme, çoğulculuğu destekleme, BM'nin rolünü güçlendirme ve şimdiki ve gelecek nesillerin ortak geleceği için çalışma sözü veren bir bildiri yayınladılar.

Bu bildiriden bir yıl sonra, dünyamız büyük değişikliklerin ve COVID-19 salgınının bütünleşmiş etkileriyle karşı karşıyadır. Bütün ülkelerde insanlar, barış ve gelişimi her zamankinden daha çok özlüyor, eşitlik ve adalet çağrıları güçleniyor ve karşılıklı kazanca dayalı işbirliğini sürdürme konusunda daha kararlılar.

Şu anda, COVID-19 dünyada hâlâ etkisini gösteriyor ve yaşamlarımızda köklü değişiklikler meydana geliyor. Dünya yeni bir değişim ve dönüşüm döne-

* *Xi Jinping'in 21 Eylül 2021'de Birleşmiş Milletler Genel Kurulu 76. Genel Kurul Toplantısında yaptığı konuşma, Zeynep Ezgi Kaya tarafından Türkçeye çevrilmiştir.*

Atıf: Xi, J. (2022). İnsan ve doğa için müşterek bir yaşam yaratmalıyız. *Kuşak ve Yol Girişimi Dergisi (BRIQ)*, 3(3), 50-53.

CC BY

mine girdi. Sorumluluk sahibi tüm devlet adamlarının üzerine düşen görev, zamanımızın sorularına cevaplar bulmak ve özgüven, cesaret ve sorumluluk duygusuyla tarihi ve doğru seçimler yapmaktır.

Kalkınmaya öncelikli olarak bağlı kalmalıyız. Daha eşit ve daha dengeli küresel kalkınma ortaklıklarını teşvik etmeli ve çok uluslu kalkınma işbirliği süreçleri arasında daha fazla birliktelik oluşturmalıyız.

Birincisi, COVID-19'u yenmeli ve insanlığın geleceği için çok önemli olan bu savaşı kazanmalıyız. Dünya uygarlık tarihi aynı zamanda salgınlarla mücadele tarihidir. İnsanlık karşılaştığı zorluklara karşı her zaman zafer kazanmış ve bu süreçlerde hep büyük gelişme ve ilerlemeler kaydetmiştir. Mevcut salgın koşulları bunaltıcı görünebilir, ancak insanlık olarak bunun üstesinden kesinlikle geleceğiz.

Her zaman insanı ve insan hayatını önceliğimiz olarak belirlemeli ve tüm insanların hayatını, kıymetini ve onurunu önemsemeliyiz. Bilime saygı duymalı, bilime dayalı bir yaklaşım benimsemeli ve bilimin yasalarına uymalıyız. Düzenli ve hedefli COVID-19 protokollerini takip edip acil müdahale önlemleri alırken aynı zamanda salgın kontrolünü gerçekleştirmeli ve ekonomik ve sosyal kalkınmayı teşvik etmeliyiz. Uluslararası düzeydeki COVID-19 mücadelesini eşgüdüm içinde geliştirmemiz ve sınır ötesine virüs bulaştırma riskini en aza indirmemiz gerekiyor.

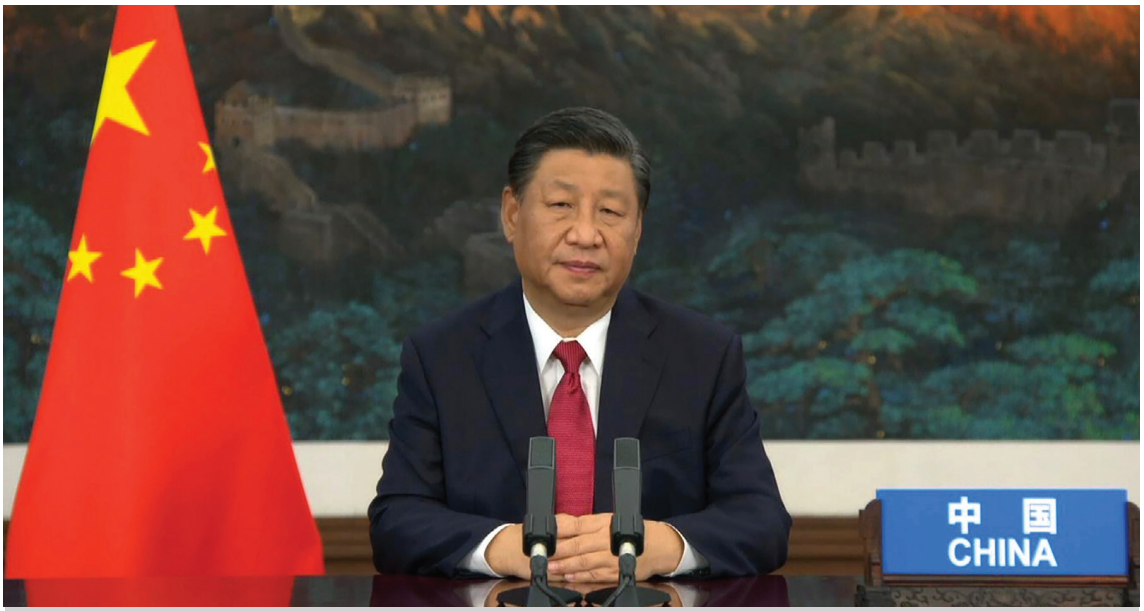
COVID-19'a karşı en güçlü silahımız, aşıdır. Aşıları insanlığın ortak malı haline getirmemiz ve gelişmekte olan ülkelerde aşı erişilebilirliğini sağlamamız gerektiğini birçok kez vurguladım. Acilen dünya genelinde adil ve eşit aşı dağıtımını sağlamalıyız. Çin, bu yılın sonuna kadar toplam iki milyar doz aşı temin etmeye çalışacaktır. COVAX'a yapılan 100 milyon dolar bağışın yanı sıra, Çin bu yıl içinde gelişmekte olan ülkelere 100 milyon doz aşı bağışlayacak. Çin, evrensel bilime dayalı temelleri desteklemeye devam edecek ve bunların karşısına çıkan siyasi manevralar hangi biçimde olursa olsun kesin olarak karşı çıkacaktır.

İkincisi, ekonomiyi canlandırmalı ve daha sağlam, daha yeşil ve daha dengeli küresel kalkınmayı sürdürmeliyiz. Kalkınma, insanların refahının anahtarıdır. COVID-19'un şiddetli darbeleriyle karşı karşıya kalırken; dünya çapında kalkınmayı dengeli, koordineli ve kapsayıcı büyümenin yeni bir aşamasına yönlendirmek için birlikte çalışmamız gerekiyor. Bu amaçla, bir Küresel Kalkınma İnisiyatifi önermek istiyorum.

Kalkınmaya öncelikli olarak bağlı kalmalıyız. Kalkınmayı küresel makro politika gündeminin üst sıralarına koymalıyız. Büyük ekonomiler arasındaki politika koordinasyonunu güçlendirmeli ve politika sürekliliği, tutarlılığı ve sürdürülebilirliğini sağlamalıyız. Daha eşit ve daha dengeli küresel kalkınma ortaklıklarını teşvik etmeliyiz. Çok uluslu kalkınma işbirliği süreçleri arasında daha fazla birliktelik oluşturmalıyız. BM 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin uygulanmasını hızlandırmalıyız.

İnsan merkezli bir yaklaşıma bağlı kalmalıyız. İnsanların geçim kaynaklarını korumalı ve iyileştirmeliyiz. Kalkınma yoluyla insan haklarını korumalı ve geliştirmeli, kalkınmanın insanlık için ve insanlık tarafından olmasını ve meyvelerinin insanlık arasında paylaşılmasını sağlamalıyız. İnsanların daha büyük mutluluk, fayda ve güvenlik duygularına sahip olmaları ve çok yönlü gelişme sağlamaları için çalışmalarımıza devam etmeliyiz.

Herkes için yarar sağlamaya bağlı kalmalıyız. Gelişmekte olan ülkelerin özel ihtiyaçlarını önemsemeliyiz. Başta istisnai zorluklarla karşı karşıya



Çin Cumhurbaşkanı Xi Jinping, Birleşmiş Milletler Genel Kurulu'nun 76. oturumunda konuşmasını yaparken, 21 Eylül 2021. (Xinhua, 2021)

kalan savunmasız ülkeler olmak üzere gelişmekte olan ülkelere, ülkeler arasında ve içerisinde bulunan dengesiz ve yetersizlikleri gözeterek borcun askıya alınması ve kalkınma yardımı gibi araçlarla yardım edebiliriz.

Yenilik odaklı gelişime bağlı kalmalıyız. Yaşanan teknolojik devrimin ve endüstriyel dönüşümün yarattığı tarihi fırsatları yakalamamız gerekiyor. Bilim ve teknolojinin gelişiminde açık, adil, hakkaniyetli bir ortamın yaratılması için çabalarımızı artırmalıyız. COVID sonrası dönemde büyümenin yeni itici güçlerini teşvik etmeli ve gelişimde birlikte sıçrama gerçekleştirmeliyiz.

İnsan ve doğa arasındaki uyuma bağlı kalmalıyız. Dünya çapında çevre yönetimini iyileştirmeli, iklim değişikliğine bilfiil müdahale etmeli ve insan ile doğa için müşterek bir yaşam yaratmalıyız. Yeşil ve düşük karbonlu bir ekonomiye geçişi hızlandırmalı ve yeşil kalkınmayı sağlamalıyız. Çin, 2030'dan önce karbondioksit emisyonunu azaltmayı zirveye çıkaracak ve 2060'tan önce karbon nötrlüğü elde etmek için çaba gösterecektir. Sıkı çalışmayı gerektiren bu hedefe ulaşmak için her türlü çabayı göstereceğiz. Çin, yeşil ve düşük karbonlu enerjinin geliştirilmesinde diğer gelişmekte olan ülkelere desteği artıracak ve yurtdışında yeni kömür yakıtlı enerji projeleri inşa etmeyecektir.

Sonuç odaklı eylemlere bağlı kalmalıyız. Kalkınmada girdiyi artırmalıyız. Yoksulluğun azaltılması, gıda güvenliği, COVID-19 müdahalesi ve aşılar, kalkınma finansmanı, iklim değişikliği ve yeşil kalkınma sanayileşmesi, dijital ekonomi ve bağlantı konularında öncelikli işbirliğini ilerletmeliyiz. Ortak bir geleceğe sahip uluslararası anlamda bir kalkınmış bir topluluk oluşturmak için BM 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündeminin uygulanmasını hızlandırmalıyız. Çin, gelişmekte olan ülkelerin, COVID-19'la mücadelelerinde, ekonomik ve toplumsal iyileşmeyi sağlamalarını desteklemek için önümüzdeki üç yıl içinde 3 milyar dolar ek destek sözü verdi.

Üçüncüsü, uluslararası ilişkilerin yürütülmesinde dayanışmayı güçlendirmeli, karşılıklı saygı ve karşılıklı yarara dayalı işbirliğini teşvik etmeliyiz. Barış ve kalkınma dünyası, uygarlığı pek çok alanda kucaklamalı ve modernleşmeye giden farklı yolları barındırmalıdır. Demokrasi, tek bir ülkeye ayrılmış özel bir hak değil, tüm ülkelerin insanlarının yararlanabileceği bir haktır. Dünyada yaşanan son gelişmelerin bir kez daha gösterdiği gibi, dışarıdan yapılan askeri müdahaleler ve sözde demokrasi ihracı zarardan başka bir şey getirmiyor. İnsanlığın ortak değerleri olan barış, kalkınma, eşitlik, adalet, demokrasi ve özgürlüğü savunmalıyız. Kazananı olmayan oyunlar oynamayı reddetmemiz gerekiyor.

Dünya bir kez daha tarihi bir yol ayrımındadır. İnsanlık için barış, gelişme ve ilerleme eğiliminin karşı konulmaz olduğuna inanıyorum. Karşılıklı güveni güçlendirelim ve küresel tehditleri ve zorlukları birlikte ele alalım.

Ülkeler arasındaki farklılıklar ve sorunlar, eşitlik ve karşılıklı saygı temelinde diyalog ve işbirliği yoluyla çözülmelidir. Bir ülkenin başarısı, başka bir ülkenin başarısızlığı anlamına gelmek zorunda değildir ve dünya, tüm ülkelerin ortak kalkınmasını ve ilerlemesini sağlayabilecek kadar büyüktür. Çatışma ve dışlama yerine diyalog ve kapsayıcılığı sürdürmemiz gerekiyor. Saygı, eşitlik, adalet ve karşılıklı kazanç doğuran işbirliğine dayalı yeni bir tür uluslararası ilişkiler sistemi kurmalıyız. Çıkarlarımızı ortaklaştırmak ve mümkün olan en büyük birlikteliği sağlamak için elimizden gelenin en iyisini yapmalıyız.

Çin halkı her zaman barış, dostluk ve uyum yaklaşımını önemsedi ve sürdürmek için çabaladı. Çin asla ve asla başkalarını işgal etmedi, onlara zorbalık etmedi ya da hegemonya peşinde koşmadı. Çin her zaman dünya barışının kurucusu, küresel kalkınmaya katkıda bulunan, uluslararası düzenin savunucusu ve kamu mallarının sağlayıcısıdır. Çin, kendi gelişimiyle birlikte dünyaya yeni fırsatlar sunmaya devam edecektir.

Dördüncüsü, bütünsel yönetimi geliştirmeli ve gerçek çoğulculuğu uygulamalıyız. Dünyada tek bir uluslararası sistem vardır, Birleşmiş Milletler'in merkezinde olduğu uluslararası sistem. Yalnızca bir uluslararası düzen vardır, uluslararası hukuk tarafından desteklenen uluslararası düzen. Ve sadece bir dizi kural vardır, BM Antlaşması'nın amaç ve ilkeleri tarafından desteklenen, uluslararası ilişkileri yöneten temel kurallar.

BM, gerçek çoğulculuk bayrağını yüksekte tutmalıdır. Ülkelerin kapsamlı güvenliklerini sağlamaları, kalkınma başarılarını paylaşmaları ve dünyanın geleceği için bir rota çizmeleri için merkezi bir platform olarak hizmet etmelidir. BM, istikrarlı bir uluslararası düzen sağlamaya, uluslararası ilişkilerde gelişmekte olan ülkelerin temsilini ve söz hakkını artırmaya kararlı olmalıdır. BM dengeli bir şekilde ilerlemeli ve üç temel alanda, güvenlik, kalkınma ve insan haklarında çalışmalıdır. Ortak bir gündem belirlemeli, acil sorunları vurgulamalı ve gerçek eylemlere odaklanılmalı ve tüm tarafların çoğulculuk taahhütlerinin gerçekten yerine getirilmesini sağlamalıdır.

Sayın Başkan,

Dünya bir kez daha tarihi bir yol ayrımındadır. İnsanlık için barış, gelişme ve ilerleme eğiliminin karşı konulmaz olduğuna inanıyorum. Karşılıklı güveni güçlendirelim ve küresel tehditleri ve zorlukları birlikte ele alalım. Hepimiz için daha iyi bir dünyayı yaratmak amacıyla, tüm insanlık için ortak bir gelecek topluluğunu inşa etmek için birlikte çalışalım.

Ekolojik Uygarlığın Enerjisi: Hidrojen

SALİH ERTAN
Elektrik Mühendisi

ODTÜ mezunu elektrik mühendisi. Biyokütleden Enerji ve Biyoyakıt üretilmesi konularında faaliyet gösteriyor. Enerji ve çevre konularında muhtelif çalışmaları bulunuyor. Güncel etkinlik konuları arasında, "Ara Ziraat" / " Tarla Ormancılığı", Karbon Yutakları, "Negatif Karbon Salımı" uygulaması olarak "Enerji Çiftliklerinin" kurulması da yer alıyor. Geçmişte, araştırmacı olarak, Türkiye'yi çevreleyen denizlerde yürütülen çok sayıda projede görev aldı. Denizlerdeki hidrokarbon kaynaklarının araştırılması, deniz altı doğalgaz boru hatlarının muayene çalışmaları, özellikle Karadeniz'de yürütülen sığ ve derin sismik çalışmaları ile Ege ve Akdeniz'de BM-UNEP adına yürütülen MEDPOL (Akdeniz'de Kirlilik Ölçümü ve Kontrolü Projesi), yer aldığı ve katkıda bulunduğu projeler arasındadır. İçme suyu şebekelerinde muhtelif hasarlardan kaynaklı fiziksel kayıpların, uzaktan ve hasarsız muayene yöntemleriyle saptanması konusunda çalıştı. Yurt içi ve dışında birçok STK çatısı altında faaliyet yürüten enerji çalışma gruplarında çalışmalar yürüttü. Enerji Sanayicileri ve İş Adamları Derneğinin kurucuları arasında yer aldı. Yer aldığı STK'lar bünyesindeki çalışmaları halen devam etmektedir.

E-posta: salih.ertan@gmail.com

Geliş Tarihi: 14.12.2021
Kabul Tarihi: 05.05.2022

Atıf: Ertan, S. (2022). Ekolojik uygarlığın enerjisi: hidrojen. *Kuşak ve Yol Girişimi Dergisi (BRIQ)*, 3(3), 54-71.

ÖZ

Küresel Isınmaya bağlı İklim Değişikliği olgusunun başlıca nedeninin, geleneksel fosil yakıtlarına dayalı enerji üretimi olduğu, genel kabul gören bir yaklaşımdır. Bu çerçevede, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına (YEK) dayalı strateji ve enerji politikalarının ivedilikle oluşturulması ve olası en kısa zaman zarfında hayata geçirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Dünyamızdaki yaşamın varoluşsal bir tehdit altında bulunduğu günümüzde, temiz ve tükenmeyen nitelikteki YEK'e geçiş sayesinde, eşiğinde bulunduğumuz "Altıncı Büyük Çöküşün" önü alınabileceği değerlendirilmektedir. YEK türleri arasında yer alan Hidrojen ve Hidrojen Enerjisinin giderek öne çıkmakta olduğu gözlenmektedir. Hidrojen, taşınabilir ve depolanabilir olmak gibi ayırt edici avantajlarının yanı sıra fosil kökenli yakıtların yerine geçme potansiyeline de sahip bulunmaktadır. Kritik soru şudur: YEK geleneksel fosil yakıtlarının yerini tamamen alabilir mi? Hidrojen Enerjisinin toplam enerji üretim kapasitesi içerisinde önemli bir paya sahip olacağı YEK türleri, sadece fosil yakıtları ile sınırlı olmaksızın nükleer enerjinin de yerini alabilecek, büyük bir potansiyel taşımaktadırlar. Bu çalışmada, Ekolojik Uygarlık olarak da adlandırabileceğimiz "Yeni Dünya Düzeni"'nin, "hidrojen-karbon" teknolojileri ile karakterize edileceği yönündeki görüş incelenmekte ve tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dc grid, hidrojen enerjisi, hidrojen sülfür, hidrojen yakıt hücresi, karbon-hidrojen çağı

GELENEKSEL FOSİL YAKITLARINDAN (GFY: kömür-petrol-doğalgaz) Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına (YEK) geçişin zorunlu olduğu konusunun, bütün dünya kamuoyu ve ilgili karar vericilerin, her geçen gün artan, liste başı bir gündem maddesi olduğu görülmektedir.

Söz konusu geçişin bir tercih olmayıp, İklim Değişikliği olgusunun yol açacağı toplu ekolojik yıkım kaygısının doğurduğu itkiden kaynaklandığı bilinmektedir. Günümüz uygarlığı esas itibarıyla, kömür-petrol-doğalgaz uygarlığıdır. Başlangıcı yaklaşık 250 yıl geriye uzanan Birinci Sanayi Devriminden bu yana, özellikle enerji üretimi ve dünyanın doğal kaynaklarını kullanma tarzından, daha genel ifadesiyle, sürgit olan mevcut yaşam tarzından kaynaklı olarak yerküre biteviye ısınmaktadır.

Küresel Isınmanın neden olduğu İklim Değişikliği olgusunun, geçen 250 yıl zarfında, insanoğlu için varoluşsal bir tehdide dönüşerek, yerküre üzerindeki bütün ekosistemi "Altıncı Büyük Çöküşün" eşiğine getirmiş bulunduğu değerlendirilmektedir (Robinson, 2021).

Bu bağlamda, günümüzün apaçık ve yakıcı gerçeği, bir gram dahi kömür ve petrol, bir metreküp daha doğalgazın enerji üretim amacıyla bundan böyle kullanılmaması gerektiğidir. YEK, işte bu noktada mutlak bir zorunluluk haline gelmiş bulunmaktadır.

Öteden beri YEK konusundaki tartışmaların odağında yer alan bir soru bulunmaktadır: YEK, günümüzde ve gelecekte GFY'nin yerini bütünüyle alabilir mi?

Bu çalışmamızda ele alınan konularda bu sorunun yanıtı aranmaktadır: YEK'in, sadece GFY ile sınırlı olmaksızın, Nükleer Enerjinin de yerini alabilecek potansiyele sahip olduğu söylenebilir. YEK yelpazesi / türleri içerisinde yer alan Hidrojen Enerjisinin öne çıkmasıyla YEK, gezegenimiz üzerindeki yaşamı toplu yok oluş tehdidinden esirgeyecek kapasite ve potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir

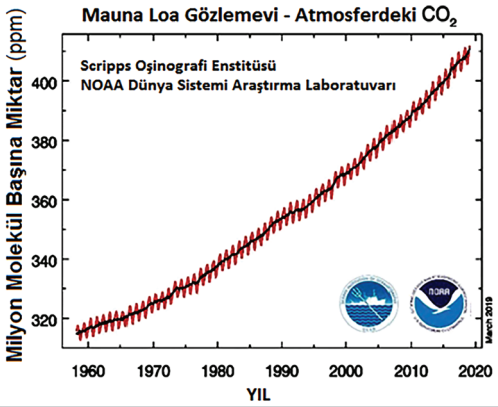
YEK türleri ana karakteristikleri bakımından iki gruba ayrılmaktadır. Şöyle ki: rüzgâr, güneş (PV), yoğunlaştırılmış güneş (CSP), dalga (gel-git dahil) kesikli karaktere sahip türler olarak sınıflanırken; jeotermal, biyokütle ve hidrojen esaslı enerji üretim yöntemleri "baz yük" karakterine sahip YEK türleri olarak ayrışmaktadır. Bunlar arasında, sadece biyokütle ve hidrojen, taşınabilir ve depolanabilir olma özelliğine ve avantajına sahip bulunmaktadır.

Hidrojen ve biyokütle kaynaklı enerji üretim sistemlerinin yılda 7.500-8.000 saat devrede olabilmesine karşın, rüzgâr ve güneş enerji kaynaklı sistemlerin yıl içerisinde emre amade olabildikleri sürenin 2-3 bin saat süre zarfında ve üstelik kestirilemez zaman dilimlerinde olduğuna işaret edilmektedir. Diğer taraftan, "birincil" olarak tanımlanan GFY ve diğer YEK türlerinden farklı olarak, hidrojenin enerji üretiminde kullanılmak üzere öncelikle diğer kaynaklardan üretilmesi gerektiği ve bu anlamda "birincil" bir enerji kaynağı olmadığı da belirtilmelidir. Hidrojen, literatürde bir "enerji taşıyıcısı" olarak tanımlanmaktadır (European Environment Agency, 2022).

İklim Değişikliği ve YEK'e Geçişin Zorunluluğu

Birinci Sanayi Devriminden bu yana, genel olarak yaşam tarzı, özel olarak da doğal kaynakların sınırsızcasına tüketilmesinden kaynaklı olarak, günümüzde, yerküre üzerindeki ekosistemin topluca çöküşün eşiğine taşınmış olduğu söylenebilir. Bu sonuca yol açan etmenlerin başında GFY'nin enerji üretiminde kullanılması yer almaktadır. GFY kaynaklı enerji üretimi, Küresel Isınma olgusunun insanoğlu eliyle gerçekleşen başlıca nedeni olarak, günümüzde varoluşsal bir sorunsala dönüşen İklim Değişikliğine yol açmış bulunmaktadır. Söz konusu zorunluluğun

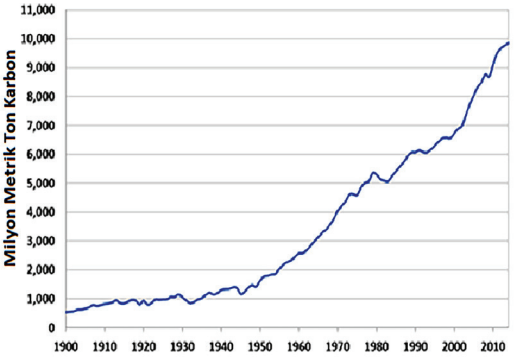
Şekil 1a. Atmofserdeki Karbondioksit



Kaynak: NOAA Global Monitoring Laboratory, 2022.

arka planında yer alan gerekçelere ilişkin bulgu ve göstergelere yer vermek, konunun bütünlüğü bakımından yararlı olacaktır. Aşağıda yer alan NOAA kaynaklı grafiklerde, Hawaii Adalarındaki Mauna Loa gözlemevinde, 1950'li yıllarda başlatılan CO_2 konsantrasyonu ölçümlerinde elde edilen sonuçlar ile (Şekil 1a ve Şekil 1b) daha geniş bir zaman aralığında, 1. Sanayi Devriminin başlangıcı sayılabilecek 1750 yılından günümüze kadar uzanan zaman dilimi boyunca, CO_2 konsantrasyonunda gözlenen sürekli artışın yanı sıra, atmosfere salınan CO_2 miktarları da (Şekil 2) gösterilmektedir.

Şekil 1b. Atmosferdeki Karbondioksit



Kaynak: NOAA Global Monitoring Laboratory, 2022.

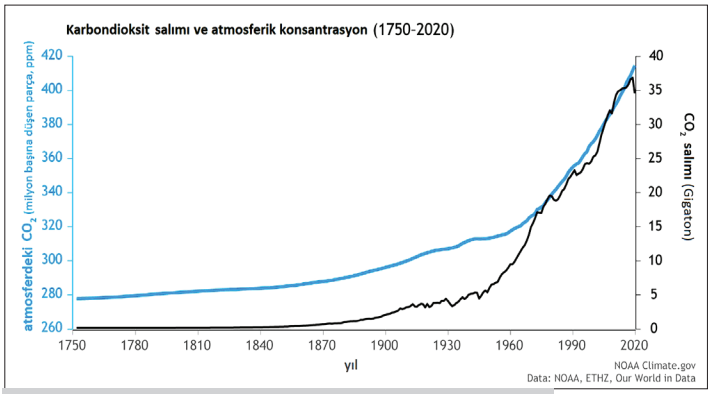
Yapılan ölçüm ve bir hesaplamaya göre, güncel olarak atmosferde mevcut CO_2 gazı, yaklaşık olarak toplamda 3,2 trilyon tondur. Endüstri öncesi dönemde 280 ppm olan CO_2 konsantrasyonunun günümüzde 420 ppm'e ulaştığı göz önüne alındığında, anılan miktarın üçte birine karşılık olan yaklaşık 1,1 trilyon CO_2 gazının son 250 yılda salındığı sonucu çıkarılabilir (Lindsey, 2020). Ancak, değişik varsayımlara dayalı hesaplamalarda tam bir uyum olmadığını da vurgulamak gerekir.

Şekil 4'te ise 1880–2020 yılları arasında yerkürenin sıcaklığındaki ortalama artış yer alıyor. Grafiğin solda yer alan y-ekseni sıcaklık değişimini Celsius birimiyle göstermektedir. Düzenli yapılan ölçümler, 1880–2020 yılları arasında yerkürenin en az ortalama 1,1°C artmış olduğunu ortaya koymaktadır. (World of Change: Global Temperatures, t.y.)

Bu arada, Mauna Loa gözlemevi sonuçlarında sadece CO_2 konsantrasyonu ölçümleri yer almaktadır. Metan, azot oksit. HFC vs. gibi diğer sera gazları hesaba katıldığında, toplam sera gazı konsantrasyonunun 2018 yılında 457.0 ppm değerine eriştiği görülmektedir (European Environment Agency, 2022).

Geçen yıl 26'ncısı düzenlenen BM İkilim Değişikliği Konferansları serisinde "Sıfır Karbon Salımı", "Düşük Karbon Ekonomisine Geçiş" başlıkları altında sıralanan vaat, dilek ve temennilere sıkça karşılaşılmıştır. Ayrıca 2050 yılında "Karbon Nötr" döneme geçileceği yönünde iddialar ortaya konmaktadır. Buna karşın şu sorunun yanıtı açıkta kalmaktadır: Örneğin 2040 yılında atmosferdeki CO_2 konsantrasyonu, farz edelim ki 500 ppm seviyesine eriştiğinde, "Geri Dönülmez Noktanın" hala aşılmamış olacağını nereden ve nasıl bilinmektedir?

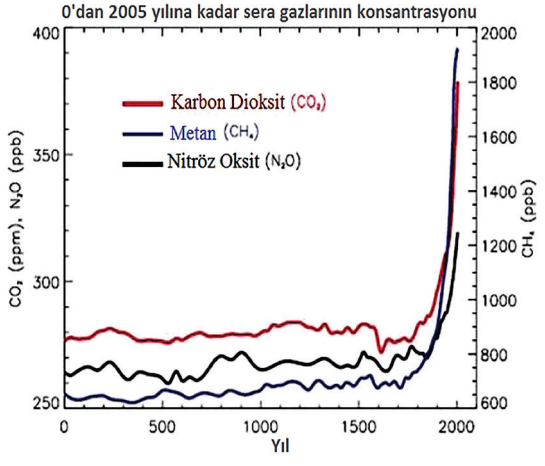
Şekil 2. Atmosfere Salınan Karbondioksit Miktarı



Kaynak: NOAA Climate.gov, 2022.

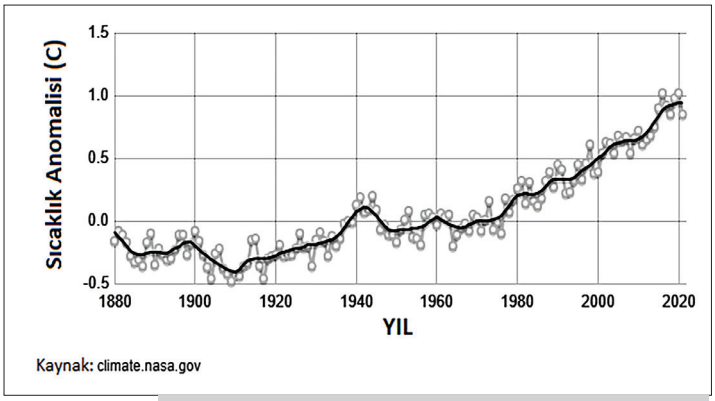
Kapıya dayanan tehlike Permafrost'un (çoğunlukla Kuzey Buz Denizini çevreleyen ve genişliği 20.0 milyon km²'yi geçen sürekli donuk araziler) süratle çözülmekte olduğudur. Hızlanarak devam eden çözülme süreciyle birlikte, donmuş toprak tabakaları arasındaki on milyarlarca ton metan gazı atmosfere karışacağı gibi, binlerce yıldır kış uykusunda bulunan virüs ve bakteriler de uyanacaklardır. Bazıları belki de COVID-19'dan daha tehlikeli olan bu

Şekil 3. Sera Gazlarının Konsantrasyonlarındaki Değişim



Kaynak: Environment and Natural Resources, t.y.

Şekil 4. Yerkürenin Sıcaklığındaki Ortalama Artış



Kaynak: Earth Science Communications Team, 2021.

hastalık vektörlerine karşı bağışıklığımız da bulunmamaktadır.

İklim Değişikliği olgusunun kısa erimde baş göstermesi olasılığı yüksek bu tür sonuçları da açıkça gösteriyor ki, oyalanmadan, daha fazla gecikmeksizin, Sıfır Salım gibi, mevcut varoluşsal tehdit karşısında etkisiz stratejiler, kısa düşen yetersiz vaatler yerine, "Negatif Karbon Salımı / Karbon Negatif" uygulamaların küresel ölçekte hayata geçirilmeleri gerekmektedir. Atmosfere salmakta olduğumuz sera gazlarından fazlasını kalıcı olarak tutmak zorunluluğu bulunuyor. Peki, bu hedef nasıl gerçekleştirilebilir? Bu konu başlı başına bir inceleme konusu olup, ayrı bir çalışmada etraflı olarak ele alınmalıdır.

Neden Hidrojen Enerjisi

Küresel ısınma ve buna bağlı İklim Değişikliği tehdidinin gözler önüne serdiği tabloya yukarıdaki bölümde yer verdikten sonra, YEK'e geçişin ivedi ve çok güncel bir zorunluluk olduğunun altını çizerek tekrarla vurgulamak gerekiyor.

YEK türleri arasında hidrojen enerjisi, öne çıkan bir önem ve ayrıcalık taşıyor. YEK, GFY ve nükleer enerjinin yerini bütünüyle doldurabilecektir. Ancak, şu noktanın da altını çizmekte yarar var: Hiçbir YEK türü kendi başına bir "gümüş mermi" değildir. Başka bir ifadeyle, sadece hidrojen veya örneğin güneş enerjisinin (PV veya yoğunlaştırılmış güneş), dünyadaki enerji sorununu çözmekte tek başına yeterli olabileceği yönünde bir sav öne sürülemez.

Ancak, hidrojen enerjisinin sağladığı biricik avantajlara, diğer YEK türlerine kıyasla sahip olduğu üstünlüklere de işaret etmek yararlı olacaktır.

Hidrojen de dahil olmak üzere YEK türlerinin ortak özelliği ve çevre etkisi bakımından sağlanan başlıca avantaj, "Temiz ve Tükenmez" karaktere sahip olmalarıdır. Diğerlerinden farklı olarak hidrojenin dolaylı şekilde başka kaynaklardan üretilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, yukarıda da belirtildiği üzere, hidrojen bir "enerji taşıyıcısı" olarak sınıflandırılmaktadır (IEA, 2021).

RES ve GES'e Dair Kısıtlar

"Baz Yük" (yılda 7,000+ saat devrede/emre amade) özelliğine sahip olan hidrojene göre, biyokütle (BES) ve jeotermal (JES) ayrı tutulursa, günümüzde hayli popüler olan güneş (GES) ve rüzgâr enerjilerinin (RES), kaynak bakımından kesikli karakterde olmalarının önemli bir dezavantaj oluşturduğu görülmektedir.

Küresel ölçekte popüler ve kurulu güç kapasitesi her geçen gün ivmeli bir artış gösteren RES ve GES'ten ibaret bir enerji iletim ağı kurulması, teknik kısıtlamalar yüzünden olanaklı değildir. Rüzgâr ve güneş kaynakları, yıl boyunca toplamda sadece, olsa olsa 3,000 saat dolayında kullanıma elverişlidirler. GES için kaynağın mevcudiyeti bir ölçüde kestirilebilirken, RES için böyle bir tahminde bulunmak mümkün değildir. Yerel iklimsel anomaliler RES'e ilişkin tahminleri büsbütün belirsiz hale getirmektedir.

RES ve GES'i enerji arzı bakımından, bir nebze olsun güvenli kaynaklara dönüştürmek ise enerji depolanmasını gerekli kılmaktadır. RES ve GES tesislerinde üretilen enerji depolanmıyorsa,

üretildiği anda tüketmek zorunluluğu vardır. Depolama yapıldığı durumda, örneğin, bunların emre amade olduğu süreyi yıl içerisinde 6.000 saat dolayına çıkarmak için kurulu güç kapasitesini iki kat arttırırken, üretilecek elektrik enerjisinin depolanacağı "batarya çiftliği" tesislerinin de kurulması gerekmektedir. Bu çalışmamızda, maliyet unsurunun esas belirleyici parametre olarak kabul edilmediği ve bunun minimize edilmesi arka planda yer aldığı için, yaklaşık baz yük karakteri kazandırılmış RES veya GES'lerin kuruluş maliyetindeki artışa değinmiyoruz. Maliyet faktörüne ilişkin bazı belirlemelere aşağıda yer verilmektedir.

Biyokütle; temiz, tükenmez, taşınabilir, depolanabilir ve çöller dışında her alanda mevcut olabilen bir YEK türü olarak öne çıkıyor.

Enerji depolanması konusu açıldığında bir diğer popüler isim ya da markaya değinmek gerekiyor: Li-Ion bataryalar.

Bu noktada şu belirlemenin altı çizilmelidir: Enerji depolama araç ve teknolojileri henüz emekleme çağındadır. Bunları geliştirilerek olgun ve yetkin çözümler haline getirme aşamasından henüz uzak bulunuyoruz.

Dahası, rüzgâr ve güneşin bol ve bedava olmasına karşın, Lityum için aynı durum geçerli değildir. Burada, adı enerji depolama konusunda en sık anılan çözümlerin dayandığı ana element olduğu için Lityum üzerinde özellikle durulmaktadır. Her ne kadar kanıtlanmış ve olası lityum rezervleri mevcut üretim seviyesi ve küresel talebin çok üzerinde olması dolayısıyla, yakın ve orta vadede arzda bir sıkışıklık ve buna bağlı olarak fiyatlarda bir sıçrama beklentisi bulunmuyorsa da sınırlı sayıda tedarikçiye bağımlılığın potansiyel bir sorun kaynağı olabileceği düşünülmektedir (National Minerals Information Center, t.y.). Ancak, Li-Ion batarya tipine alternatif olarak çok sayıda çözüm (Sodyum-Sülfür, Alüminyum-İyon vs.) üzerinde yoğun çalışmalar olduğu da belirtilmelidir. Rüzgâr ve güneşe ilişkin bir dezavantajın da bunlara dayalı enerji üretiminin kısıtlı alanlarda; örneğin yılda 3,000+ saat rüzgârın estiği ya da gün ışığına poz süresinin de asgari bu seviyede olduğu alanlarda Rüzgar ve PV enerji üretim tesislerinin kurulması, "proses verimliliği" açısından uygun olacaktır.

Hidrojene Kıyasla Jeotermal ve Biyokütle Üzerine Kısa Değerlendirme

JES esaslı enerji üretim tesisleri de baz yük işlevine sahip olmakla birlikte, gerekli jeotermal kaynakların mevcut bulunduğu alanların, yer kabuğunun faylarla kırılmış ve magmanın yer yüzüne yakın olduğu, tektonik riskler taşıyan arazilerle sınırlı olduğunu belirtmek gerekiyor. Kaynak, pratikte sınırsız olmakla beraber jeotermal alanlarını sınırlı oluşu başlı başına bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Buna karşılık, biyokütle; temiz, tükenmez, taşınabilir, depolanabilir ve çöller dışında her alanda mevcut olabilen bir YEK türü olarak öne çıkıyor. Biyokütleden enerji tesisleri (BES), baz yük işlevine sahip, coğrafi bir alan üzerinde farklı kapasitelerdeki tesisler ağı şeklinde dağıtık bir sistem oluşturacak şekilde kurulabilirler. BES'e ilişkin ayırt edici önemli bir avantaj, kentsel alanlarda açığa çıkan organik atıkların bertaraf edilmesinde BES'in etkili bir araç olarak, enerji ve çevre sorunlarına ilişkin çözümleri bütünleştirici bir rol oynama potansiyeline sahip olmasıdır. Biyokütleden, fosil yakıtlarının yerini alabilecek biyoyakıtların üretilmesi olanağı da bulunmaktadır.

Çalışmamızın ana teması bakımından,

biyokütlenin aynı zaman da bir hidrojen kaynağı olarak kullanılabileceğini de bu arada belirtmek gerekiyor. Biyokütlenin bu işlevine aşağıda değinilmektedir.

Hidrojenin bir enerji ve akaryakıt kaynağı olarak kullanılması sayesinde, yenilenebilir enerji kaynakları geleneksel fosil yakıtlarının bütünüyle yerini alabilecektir.

Hidrojen Enerjisinin Önemi ve Ayrıcalığı

Hidrojen, biyokütlenin yukarıda değinilen bütün avantaj ve ayrıcalıklarına sahip bir YEK türüdür. Hidrojenin bir enerji ve akaryakıt kaynağı olarak kullanılması sayesinde, YEK GFY'nin bütünüyle yerini alabilecektir. Bu olanak, hidrojen ve biyokütlenin öne çıkmasıyla gerçekleşebilir.

YEK'in GFY'nin yerini tamamen alması hedefi, "Karbon Sıfır" / "Net Sıfır Karbon Salımı" biçiminde de ifade edilebilir. Ancak, "Karbon Sıfır" aşaması İklim Değişikliği ile mücadelede nihai bir aşama olmaktan uzaktır. Asıl hedeflenmesi gereken, "Negatif Karbon Salımı" / "Negatif Karbon" uygulamalarının hızla hayata geçirilmesi ve küresel ölçekte yaygınlık kazanmasıdır.

Biokütleden farklı olarak hidrojenin, doğrudan (birincil) bir enerji kaynağı olmadığı için, muhtelif kaynaklardan üretilmesi gerekmektedir. Hidrojen, ısı ve elektrik üretimi amacıyla veya araçlarda yakıt olarak kullanıldığında atmosfere sadece su buharı salınmaktadır.

GFY'den YEK'e geçişte bir "fren mesafesi" söz konusudur. Geçiş bir günde, akşamdan sabaha olmayacaktır. Kısa zaman içerisinde gerçekleştirilecek değişimlere karşı işleyen bir atalet mevcuttur. Enerji sektöründeki oyuncu ve karar vericilerin YEK'e karşı değillerse de uzunca bir süre daha fosil yakıt kullanmaya devam yönünde bir eğilime sahip oldukları bilinmektedir. Oldukça yaygın olan görüş, ehven-i şer kabilinden, doğalgaz kullanımına mevcut enerji denkleminde daha ağırlıklı bir yer vermek şeklindedir. Bu noktada iki temel saptama yapılabilir:

1. Giriş başlığı altında da vurgulandığı üzere, bundan böyle, atmosfere 1,0 metreküp dahi CO_2 veya bir diğer sera gazı salınmalıdır.
2. Doğalgazı, "saf değiştirerek" YEK arasına katmak üzere yöntem ve uygulamalar geliştirmek zorunluluğu bulunmaktadır. Somut bir öneri olarak, doğalgaz bir hidrojen ve aynı zamanda karbon kaynağı olarak kullanılmalıdır.

Her bakımdan iflas etmiş olduğu açık seçik ortada olan "eski dünya düzeninin" yerini alacak olan "Ekolojik Uygarlık"ın bir hidrojen-karbon çağı olacağı öngörülebilir. Şöyle ki:

Hidrojen, başta doğalgazı ikame etmek üzere "Sıfır Karbon" bir yakıt olarak kullanılırken, metanın ayrıştırılması yoluyla (karbon ve hidrojen bileşenlerine ayırma) doğalgazdan elde edilecek karbon da yüzlerce çeşit ileri malzemenin üretilmesinde kullanılabilecektir. Bu sayede, doğalgazın yakılması durumunda açığa çıkacak olan karbon kalıcı olarak depolanmış olacaktır (Meier vd., 2013).

Doğalgazın "ehlileştirilerek" YEK saflarına geçmesi sayesinde, tamamen YEK'e geçilmesiyle, mevcut doğalgaz ve "Gaz Hidratı" rezervlerinin heba edileceği yönündeki, ekonomik temelli kimi kaygılar da giderilmiş olacaktır.

Hidrojen Üretim Yöntemleri

Metan (dolayısıyla doğalgaz, gaz hidratları, kaya gazı), biyokütle ve en büyük kaynak olarak su, hidrojenin elde edilebileceği kaynakları oluşturmaktadır.

Doğalgazdan "metan re-formasyonu (methane reformation)" yöntemiyle hidrojen ve karbon elde edilebilmesi, hidrojeni, pek çok kullanım alanında doğalgazın yerini en kolay ve göreli olarak kısa erimde alabilecek YEK türü olarak öne çıkarmaktadır. Doğalgazdan hidrojen üretiminde başlıca yöntemlere aşağıda kısaca değinilmektedir.

İstim / Buhar-Metan Re-Formasyonu

Geçmişi 80 yıl kadar geriye uzanan, kanıtlanmış bir yöntem olarak istim-metan re-formasyonu, günümüzde en yaygın hidrojen üretim teknolojisidir. Örneğin, ABD'de gerçekleştirilen güncel hidrojen üretiminin %95'i doğalgazdan bu yöntemle sağlanmaktadır (8). Yöntem özlü olarak şöyle açıklanabilir:

Metan, 700-1000°C sıcaklık aralığında kızgın buharla (istim) işleme tabi tutulur. 3,0 ila 25,0 bar basınç altında ve katalizörler vasıtasıyla gerçekleşen işlem sonunda karbon monoksit (CO) ve hidrojen (H_2) açığa çıkar.

İşlemin basit bir kimyasal denklemle anlatımı da şöyledir:

$CH_4 + H_2O$ (+ ısı) → $CO + 3H_2$ (suyu buharlaştırmak için enerji sarf edildiğinden, reaksiyon ısı soğuruyor - "endotermik")

İşlemin "Su – Gaz Değişimi" olarak adlandırılan ikinci aşamasındaki kimyasal reaksiyon:

$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$ (+ küçük bir miktar ısı)

Burada bir miktar daha hidrojen elde edilirken CO_2'de açığa çıkmaktadır. Reaksiyon esnasında ısı da açığa çıkıyor (ekzotermik reaksiyon). Yöntem, metanol ve diğer kısa karbon zincirli hidrokarbonlara da uygulanabiliyor. Önemli nokta ise şu oluyor: CO ve CO_2 oluşumu, bu yöntemle, Küresel Isınma bağlamında hala bir sorun olmaya devam ediyor.

Eski bir yöntem olmakla birlikte, istim-metan re-formasyonu günümüzde hala geliştirilmekte olup reaksiyonlarda kullanılacak daha uygun katalizörler konusunda araştırmalar da sürmektedir (Chen vd., 2020). Bu yöntemle, CO_2 bir yan ürün olarak açığa çıkmaktadır. Klasik, sık kullanılan, ancak İklim Değişikliği koşullarında ve "Negatif Karbon" yöntemlerine geçişin asıl ölçüt olduğu günümüzde, istim re-formasyonu artık geçerli sayılamayacak bir yöntem olarak görünmektedir.

Kısmi Yakma-Gazlaştırma

Metandan hidrojen üretimine yönelik bir diğer yöntem, Kısmi Yakma / Gazlaştırmadır. Metanın yanı sıra ağır yağ ve farklı petrol türevleri de bu işlemde hammadde olarak kullanılabilmektedir (Zhang & Ruan, 2019). Gazlaştırma, karbon ihtiva eden organik materyalin (metan), işlemin gerçekleştirildiği reaktöre kontrollü miktarda su buharı ve oksijen verildiği koşullarda kısmi yakma (eksik oksijenle yakma) işlemine tabi tutulmasıdır. İşlem sonunda açığa çıkan ürünler; H_2, CO, CO_2 ile hammadde türüne bağlı olarak hidrojen sülfür de (H_2S) olabilir. Metan söz konusu olduğunda ilgili kimyasal reaksiyonlar şunlardır:

$CH_4 + O_2 \rightarrow CO + 2H_2$

$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

$CH_4 + H_2O$ (Gaz) → $CO + 3H_2$

Gazlaştırma işlemi endotermiktir. Bu işlemde de nihai ürünlerin, H_2'nin yanı sıra CO ve CO_2 olduğu görülüyor. İstim-metan re-formasyonu

işleminde açığa çıkan H_2 ile CO ürünlerinin hacim olarak oranı 3:1 iken gazlaştırmada bu oranın 1:1 olduğu bilinmektedir (Syed, 2021).

1300–1500°C aralığında olan işlem sıcaklığını azaltmak üzere katalizörlerin kullanıldığı Gazlaştırma yöntemleri de bulunmaktadır. Sonuç olarak; CO ve CO_2 gazlarının da yan ürün olarak açığa çıkması bu yöntemleri, Küresel Isınma açısından olumlu kılmamaktadır. Ancak, H_2 üretmek amacıyla bu yöntemlere başvurulduğu dönemde, İklim Değişikliği olgusu, günümüzde olduğu gibi belirleyici bir ölçüt, bütün kararlara esas bir parametre değildi.

İnsanoğlunun bütün etkinlik alanlarında, İklim Değişikliği ana ölçüt ve bütün yatırım ve işletme planlarında başat parametre haline gelmiş bulunmaktadır.

Biyokütleden Hidrojen

Avantajları ve sağladığı esneklikler itibarıyla biyokütle ve H_2 çok benzer özelliklere sahiptir. Her iki YEK türü de taşınabilir ve depolanabilir olma avantajına sahiptir. Gerek biyokütle gerekse H_2, RES ve GES tesisleri için geçerli olan uygun konum kısıtlamasından bağımsızdırlar. Biyokütle, organik kökenli oluşu dolayısıyla bünyesinde büyük oranda H_2 ve karbon barındırmasından dolayı, birincil enerji olma niteliğinin yanı sıra, aynı zamanda bir H_2 ve karbon kaynağıdır.

Organik kökenli kentsel katı atıklar, kanalizasyon çamuru, hurda araç lastiklerinden, "enerji bitkileri", tarımsal ve orman ürünü atıklarına kadar uzanan geniş bir ürün yelpazesi, biyokütle tanımı kapsamında yer almaktadır.

Bir önceki başlık altında yer alan Gazlaştırma, biyokütlenin termo-kimyasal işlem vasıtasıyla, esas olarak iki bileşeni olan CO ve H_2'ye (Sentez Gazı) ayrıştırılmasını sağlamaktadır. İşlem, 800-1000°C ortam sıcaklığı ile yüksek basınç ortamında, bir gazlaştırıcı / gazlaştırma reaktöründe meydana geliyor. Burada elde edilen Sentez Gazı (esas olarak CO + H_2 bileşimi), istenirse, bir sonraki aşamada Fischer-Tropsch işlemi vasıtasıyla, bioyakıtlar (biodizel, biogazolin, vs.) ile günümüzde tipik bir petrokimya tesisinde üretilen başka birçok materyalin üretiminde de kullanılabilir. Bu arada, nispeten daha yeni bir teknoloji olan plazma gazlaştırma yönteminin de H_2 üretiminde kullanılabileceği bilinmektedir (Favas vd. 2017).

Hidrojen Üretimi ve İklim Değişikliği İlişkisi

Hidrojen, pek çok sanayi kolunda muhtelif amaçlarla kullanılagelen bir hammaddedir. Bu çalışmamızda ise, hidrojenin, sadece GFY'nin yerini alacak bir YEK türü olarak, bir enerji kaynağı olma özelliği esas alınmaktadır.

GFY'ye dayalı enerji paradigmasının sorgulanmadığı, İklim Değişikliği olgusunun henüz, bugünkü düzeyde yaşamsal bir tehdit oluşturmadığı dönemde, bir önceki bölümde yer alan yöntemlerle hidrojen üretiminin, işlem sonunda açığa çıkan CO ve CO_2 gibi yan ürünler dolayısıyla kritik edilmediği görülmektedir.

Ne var ki, günümüze gelindiğinde, başta enerji sektörü olmak üzere, insanoğlunun bütün etkinlik alanlarında, İklim Değişikliği ana ölçüt ve bütün yatırım ve işletme planlarında başat parametre haline gelmiş bulunmaktadır.

"Dekarbonize" / Temiz Hidrojen Üretimi

Geçmişe göre kökten değişikliğe uğramış koşullar altında, "hidrojen ekonomisine" geçişi olanaklı kılacak biçimde, hidrojen üretimini sağlamanın yol

Şekil 5. Dekarbonizasyon

Kaynak: Ozin, G., 2018.

ve yöntemleri neler olmalıdır?

Doğalgazın piroliz (pyrolysis) işlemine tabi tutularak, karbon ve hidrojen bileşenlerine ayrışması, temiz hidrojen üretimi için geçerli bir yöntem olarak görünmektedir. Piroliz, en basit anlatımıyla; biyokütle gibi yüksek yapıdaki organik maddelerin, oksijensiz ortamda, ısıl işleme tabi tutularak daha basit yapıdaki bileşenlere ayrıştırılmasıdır. Piroliz işleminin ürünleri; kısa karbon zincirli uçucu gazlar, piroliz yağı ve kok kömürüdür (Basu, 2018).

Amaçlanan nihai ürüne bağlı olarak ham madde, yüksek sıcaklıkta (800°C ve üzeri) göreli olarak kısa süreyle (piroliz yağı üretimi amaçlı) veya göreli olarak düşük sıcaklık (500°C ve uzun süreyle (kok kömürü üretimi amaçlı) piroliz işlemi uygulanabilir.

Söz konusu olan metan/doğalgaz ise, nihai ürünler hidrojen ve karbon olmaktadır.

Şekil 5'te, doğalgazın "dekarbonizasyonu" (karbondan arındırma) görsel olarak ifade edilmektedir. Genel olarak biyokütlenin hammadde olarak alındığı, basitleştirilmiş bir işlem akış şemasında da Şekil 6'da piroliz işleminin aşamaları gösterilmektedir.

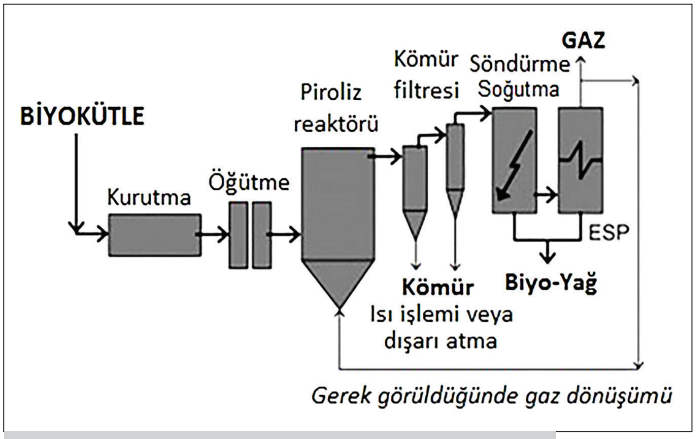
Piroliz işlemiyle doğalgazın karbon ve hidrojene dönüştürülmesi, doğalgazın "dekarbonizasyon" yoluyla çevre dostu hale gelmesi olarak da nitelenebilir. Böylelikle doğalgaz, halihazırda bulunduğu GFY saflarından dolaylı bir biçimde YEK saflarına geçmiş olmaktadır.

"Temiz" hale gelen doğalgazdan ısıl işlem (piroliz) yoluyla elde edilen hidrojen, elektrik üretiminde hammadde ve akaryakıt olarak kullanılırken, karbon, yüzlerce çeşit ileri malzemenin üretilmesinde kullanılacaktır. En basit ve yaygın kullanım alanı olarak, "siyah karbonun / kok" en azından bir toprak iyileştiricisi olarak kullanılma imkânı bulunmaktadır. Graphene, yeni kuşak PV paneller ve güncel bir yenilik olarak karbon esaslı yarı iletkenler, karbona dayalı yapı malzemeleri vs., yüzlerce kullanım alanı arasında sadece birkaçıdır.

Bu suretle karbon kalıcı olarak tutulmuş ve depolanmış olacaktır.

Yaygın bir görüşe göre, doğalgazın, karbon ayak izinin kömüre kıyasla daha az (yarı yarıya ve hatta daha az) olması dolayısıyla, gelecekteki enerji

Şekil 6. Piroliz İşlem Aşamaları



Kaynak: Meier vd., 2013.

stratejilerinde hala yer alması düşünülebilir. Enerji çevrim santrallerinde doğalgazın yakıt olarak kullanılmasından kaynaklı olarak, baca gazında mevcut CO_2 gazını tutmak ve depolamak (KTD) sıkça dile getirilen ve pek çok uzmanlarca savunulan bir yöntem olarak görülmektedir . Ancak bu sağlandığında iki seçeneği birlikte değerlendirmek olanağı doğmaktadır. Bacada tutulan CO_2 gazının yer kabuğunun / litosferin derin katmanlarında depolanması en sık üzerinde durulan çözüm olagelmiştir. Eğer, doğalgaz çevrim santrali, İskandinavya Yarımadası gibi çok eski bir kara parçasında yer alsaydı bu bir depolama çözümü olarak görülebilirdi.

Hidrojen, hiçbir kuşkuya yer vermeyecek şekilde geleceğin başat enerji kaynağı olmaya adaydır.

Ne var ki, bu çözüm, örneğin Yeni İpek Yolu'nun Batı kapısı olan Türkiye'nin Ege Bölgesi'nde kurulu bir santrali için bu tarz bir KTD çözümü asla söz konusu olmaz. Çünkü, Anadolu Yarımadası ve özellikle Batı Anadolu, faylar ile arızalı olup çok yüksek tektonik riskler taşımaktadır. Sık faylarla kırılmış bir kara parçasında CO_2'yi, yüz milyonlarca yıllık bir jeolojik sürecin ardından durağan yer katmanlarında depolama olanağı mevcut değildir. Tartışmalı ve çok su götürür bir çözüm olarak, açığa çıkan CO_2, çekilecek özel bir boru hattı ile Karadeniz'in tabanına sevk edilebilir. Bu ise Öngörülemez risklerle dolu bir seçenektir.

CO_2 boru hattı güneye, Akdeniz'e doğru çekilirse, 4,700 metre derinliğindeki Rodos Çukuru da akla gelebilir. Sonuç: Tektonik risklerin yer aldığı hiçbir bölgede, fosil yakıtlarıyla yola devam imkânı sağlıyor gibi görünebilen KTD'nin bir çözüm olması düşünülemez.

Doğalgazdan hidrojen üretimini sağlamak üzere, "Piroliz" (pyrolysis) yönteminin (Schneider vd., 2020). özel ve birincil bir öneme sahip olduğu söylenebilir. GFY'den YEK'e geçiş sürecinde, göreli olarak kısa erimde, en kolay vazgeçilebilir GFY türünün kömür olduğu görülmektedir. Buna karşılık, en dirençli olan, kalmakta en fazla ayak direyen ise, görünen o ki, doğalgaz olacaktır. Doğalgazdan buna alternatif yakıtlara geçişte, bu dönüşümden en çok zararlı çıkacak ülkenin Rusya olacağı ise çok açıktır. Ne var ki, Rusya'nın hidrojen enerjisine geçiş konusunda planlarının olması çok dikkat çekicidir (Sharma, 2021; Barlow & Tsafos, 2021).

Hidrojen enerjisinin gelecekte oynayacağı rol konusunda isabetli saptamalar yapan Rusya'nın bu yöndeki eğilimine işaret eden çarpıcı bir örnek ise, Rosatom ve Gazprom şirketlerinin Sakhalin Adası'nda, hidrojen enerjisine dayalı bir çözüm konusunda ortak hareket etme kararı vermiş olmalarıdır (ROSATOM, 2021).

Türkiye açısından çok dikkate değer gelişme şudur: Mersin Akkuyu'da nükleer santral kurmakta olan Rosatom ile Türkiye'ye büyük miktarda doğalgaz temin etmekte olan Gazprom bir araya gelerek hidrojen enerjisine dayalı bir çözümde ortaklık yapmaktadırlar. Bu durum dahi, kendi başına, enerji alanındaki güncel eğilimlerin yönü konusunda yeterli ve ikna edici bir fikir vermekte yeterli olsa gerekir.

Hidrojen, hiçbir kuşkuya yer vermeyecek şekilde geleceğin başat enerji kaynağı olmaya adaydır. Çalışmamızın odağındaki esas sav, pratikte sonsuz bir enerji kaynağı olan hidrojeni öne çıkaran YEK'e dayalı enerji politikalarının hayata geçirilmesiyle, GFY ve hatta nükleer enerjiye hiçbir şekilde gerek kalmayacak

olmasıdır. Hidrojenin önemi, enerji (elektrik ve ısı) kaynağı olması kadar aynı zamanda akaryakıt olarak da kullanılabilmesinden ileri gelmektedir.

Elektroliz Yöntemiyle Hidrojen Üretimi

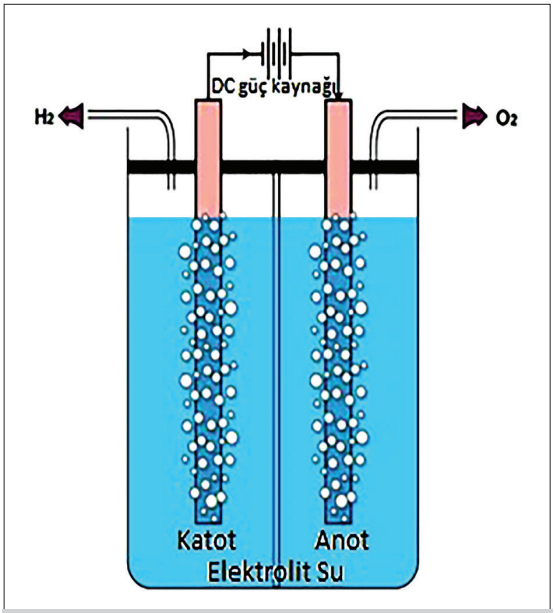
Saf su ve/veya deniz suyundan hidrojen üretimi sayesinde hidrojen tükenmeyen bir kaynak haline gelebilir. Maliyet engeli gibi, teknik sorunların giderilmesi yolunda pek çok çalışma yürütülmektedir. Yakın bir gelecekte, hidrojen üretimi amacıyla elektroliz yönteminin kullanılmasının son derece yaygın hale gelmesi öngörülmektedir (FuelCellWorks, 2022). Elektroliz, suyun bulunduğu bir elektroliz hücresinde/kabında, belirli bir doğru akım (DC) gerilimi uygulanarak, suyu hidrojen ve oksijenden ibaret bileşenlerine ayırma işlemidir. Doğru akım gerilimi altında iyonlaşan oksijen (anyon) artı yüklü anot iletkeninde toplanırken, pozitif hidrojen iyonları da (katyon) eksi yüklü katot iletkeni çevresinde gaz fazına geçmektedirler.

Çok basite indirgenmiş bir elektroliz şeması Şekil 7'de yer almaktadır.

Bu noktada, rüzgâr (RES) ve güneş (PV – GES) enerjileri gibi kesikli karaktere sahip YEK türlerinin, elektroliz işleminde enerji kaynağı olarak kullanılması çok sık telaffuz edilen ve tartışılan bir konu olarak önümüzde durmaktadır. Bu şekilde elde edilecek hidrojen, literatürde "Yeşil Hidrojen" olarak adlandırılmaktadır. RES ve GES tesislerinde zaten elektrik üretilirken, buralarda üretilecek enerjiyi neden hidrojen üretiminde kullanalım?

Hemen akla gelen yanıtlar: Hidrojen vasıtasıyla, depolanabilir ve taşınabilir olduğu gibi, akaryakıt olarak da kullanılabilecek bir enerji kaynağı elde edilmiş olacaktır. Hidrojen, pek çok enerji uzmanının öne sürdüğü gibi, neredeyse "temiz"(!) olarak nitelendirilen doğalgazın yerini kolaylıkla

Şekil 7. Suyun Basite İndirgenmiş Elektroliz İşlemi



Kaynak: MDPI, t.y.

alacak bir enerji taşıyıcısıdır. Örneğin hidrojen, mevcut doğalgaz iletim hatları üzerinden taşınabilecektir.

Peki, Yeşil Hidrojen üretimi tedarik zincirine bir bakla daha eklemekle maliyet artışının yanı sıra, olasılıkla ek teknik sorunlar da getirmeyecek midir? Bu soru ilk bakışta isabetli gibi görünmekle birlikte, maliyetler konusuna farklı bir bakış açısından eğilmekte de yarar var. Ancak, bu başlıktan önce, Türkiye'nin biricik avantajı olan iki konudan bahsetmekte yarar var. Şimdi kısaca bunlara değinelim.

Bir Hidrojen Kaynağı: Hidrojen Sülfür (H_2S)

Türkiye'nin en uzun sahiline ve en geniş Münhasır Ekonomik Alanına sahip olduğu Karadeniz, oluşumundan kaynaklanan etkenler ve süreçlere bağlı olarak, büyük bir H_2S kaynağıdır. Karadeniz bu özelliği dolayısıyla, diğer dünya denizlerine kıyasla, hidrojen kaynağı olarak biricik bir avantaj,

bir ayrıcalık taşımaktadır (Demirbas, 2009; Yüksel vd., 2021b). İzole bir iç deniz özelliğine sahip Karadeniz'in derin su katmanlarında, organik maddelerin oksijensiz ortamda bozunmasına bağlı olarak, H_2S oluşma süreci, 9,000 yıl önce meydana gelen Karadeniz'de yaklaşık 7,500 yıldır aralıksız sürmektedir. H_2S'den H_2 üretiminin, neredeyse sınırsız bir kaynak olan suya kıyasla daha kolay ve daha düşük bir enerji bütçesiyle gerçekleştirilebileceğine işaret etmek isteriz. Dolayısıyla, Karadeniz, H_2S oluşumuna bağlı olarak bir hidrojen kaynağı olma özelliğine sahip bulunmaktadır (Haklidir & Kapkin, 2005; Baykara vd., 2007).

Her ülke gibi Türkiye de biricik olan avantajlarını rekabetçi üstünlüğe taşımak zorundadır.

Yapılan muhtelif saha çalışmaları ve ölçümler sonucunda, Karadeniz'in dip seviyelerinde 4,6 milyar ton H_2S mevcut olduğu hesaplanmaktadır (Volkov & Neretin, 2007). Karadeniz'deki su kütlesi %90 oranında oksijensiz olup H_2S ihtiva etmektedir. Bilim insanları Karadeniz'de her gün 10 bin ton dolayında H_2S oluşumunun meydana geldiğini belirtiyorlar (Baykara vd., 2007).

Bu arada, yüksek derecede toksin özelliğine sahip H_2S 'in Karadeniz'de giderek artan bir çevre tehdidi oluşturduğuna da dikkat çekilmektedir. Miktarı gün geçtikçe artan H_2S , Karadeniz'i süratle bir ölü deniz alanına dönüştürmektedir. 1955 – 2015 yılları arasında, Karadeniz'de yaşama elverişli su kütlesinin (yüzeyden 90 ila 200 metre derinlikte yer alan üst tabaka) %40 oranında azalmış olması, alarm niteliğinde çok dikkat çekici bir gelişmedir (22). Toksik bir kirletici olan H_2S 'den hidrojen üretimi, değerli bir enerji kaynağı sağladığı gibi olumlu bir çevre etkisine de yol açacaktır.

H_2S'den H_2 üretiminde, 800-1000°C işlem sıcaklığında gerçekleştirilecek "termal ayrıştırma / piroliz" en uygun yöntem olarak görünüyor (Demirbas, 2009).

Karadeniz'de, eylemsiz kalmak durumunda kaçınılmaz olan bir çevre felaketinin önü alınırken, aynı zamanda geleceğin enerji kaynağı olan hidrojen üretimi, Karadeniz'i çevreleyen ülkeler arasında verimli olduğu kadar zorunlu bir iş birliği alanı oluşturmaktadır.

Hidrojen – Sodyum Bor Hidrür (Nabh4) Esaslı Yeni Teknolojiler

Her ülke gibi Türkiye de biricik olan avantajlarını rekabetçi üstünlüğe taşımak zorundadır. Türkiye, dünyada kanıtlanmış Bor rezervlerinin %70'ten fazlasına sahip bulunuyor. $NaBH_4$, bir hidrojen taşıyıcısı olduğu gibi, yepyeni hidrojen yakıt hücresi tasarımlarına da olanak tanıyan bir malzeme, bir kimyasal madde olarak öne çıkıyor. H_2 – $NaBH_4$ esaslı yakıt hücrelerinin geliştirilmesi Türkiye'nin önünde duran bir sınama niteliğindedir.

Özellikle H_2 enerjisine dayalı araçların yaygınlaşmasında $NaBH_4$'e dayalı yakıt hücrelerinin geliştirilmesi önemli bir rol oynamaya adaydır (Wee vd., 2006). Kuşak ve Yol Girişimi bağlamında önemli bir iş birliği alanı söz konusudur.

Hidrojeni Taşımak

Hidrojeni nakletmek için ilk akla gelen, doğallıkla, mevcut doğalgaz boru hatlarının kullanılmasıdır. Aşamalı olarak, belirli oranda harman edilecek olan hidrojen ve doğalgazın, doğalgaz iletim hatlarıyla taşınması üzerinde durulmaktadır.

Elbette ki bu senaryo, hidrojenin üretildiği kaynaktan ötede, nihai kullanım noktasında enerjiye dönüştürüleceği varsayımıyla geçerli olabilir.

Doğalgazın nakliyesinde olduğu gibi, hidrojenin sıvılaştırılarak sevk edilmesi ise katlanılması gereksiz yüksek maliyetler ve hidrojen molekülünün hemen her yüzeyden geçebilecek olmasına bağlı olarak, çok kalın çeperli tüp / basınçlı kap ve haznelerde muhafaza edilmesini gerektirmesi nedeniyle teknik bakımdan da elverişli bir seçim değildir. Bu bağlamda, olası en uygun yöntem, yüksek basınç altında sıkıştırılmış ve hala gaz formundaki hidrojenin mevcut iletim boruları vasıtasıyla sevk edilmesi olabilir.

$NaBH_4$'ün yanı sıra amonyağın da (NH_3) hidrojen taşıyıcısı bir madde olduğu, literatürde sıkça yer almaktadır. Suudi ARAMCO ile Japonya kökenli ENEOS, 25 Mart 2021 tarihinde, aralarında hidrojen ve amonyak esaslı bir tedarik zinciri oluşturmak konusunda bir anlaşma bağıtlamış bulunuyorlar (Sampson, 2021). Bu anlaşmadan daha önce, Eylül 2020'de ARAMCO 40 tonluk ilk parti amonyağı Japonya'ya ihraç etmişti (Saudi Arabian Oil Co., 2020). Petrol ve doğalgaz zengini Suudi Arabistan'ın, Kızıl Deniz kıyısında kurmayı tasarladığı fantastik / fütüristtik Neom kentinde 5,0 milyar dolarlık yatırımla, hidrojen üretmek ve depolamak amacıyla bir tesis kurmayı hedeflemesi çok dikkate değer bir konudur. Bu tesisin, YEK ile çalıştırılması da amaçlanmaktadır (The Japan Times, 2020).

Mevcut boru hatları, kimyevi maddeler veya yine bir kimyevi madde olan amonyağın, hidrojenin taşınmasında kullanılmasının yanı sıra geçerli bir seçenek daha bulunmaktadır: Hidrojen yerine hidrojenden üretilecek elektriğin taşınması…

Hidrojenin Elektrifikasyonu

YEK'e geçişle enerji iletim ve dağıtım ağının mevcut yapısı ve gelecekte nasıl bir geometrik bir yapıya (ağ-yapı) evirilmesi gerektiği konusu üzerinde de durulmalıdır. Mevcut ulusal şebekelerin (ulusal enterkonnekte sistem – Grid), özellikle, kesikli karakterdeki GES ve RES'lerin bağlanmasına pek elverişli olmadığı bilinmektedir.

RES ve GES'leri sorunsuz olarak barındıracak ağ-yapıların, yerelde mikro-grid (ada) ve daha geniş coğrafi ölçekte (örneğin ülke ölçeğinde) bunları birbirine bağlayan DC ve/veya HVDC (Yüksek Gerilim Doğru Akım) arterlerinden oluşması gerektiği, bir çözüm olarak akla gelmektedir. Bir sonraki aşamada, ulusal ağ-yapıların uzun mesafe HVDC hatları ile birbirine bağlandığı, kıtalararası ve hatta okyanus aşırı bir ağ-yapının, küresel ölçekte bir Süper–Grid'in kurulması tartışmalara konu olabilir. Bu noktada, günümüzde ortaya çıkan ve ulusal enterkonnekte sistemlerin üst katını oluşturacak DC Grid konusuyla yakından ilintili güncel bir eğilimden de bahsetmek gerekiyor: Elektrifikasyon…

2019 Temmuz ayında Yeni Delhi'de düzenlenen bir konferansta, IEA icra heyeti direktörü Dr. Fatih Birol, elektrifikasyonun geleceği şekillendireceğini ifade etmiştir (CEEW, 2019)

Piroliz yöntemiyle doğalgazdan ve/veya suyun elektrolizi yoluyla elde edilecek hidrojenin, mevcut veya yeni inşa edilecek boru hatlarıyla uzak mesafelere nakli yerine, üretildikleri konumda kurulmuş çevrim santrallerinde elektrik enerjisine dönüştürülerek, elektrik formundaki enerjinin DC / HVDC hatlarla son tüketiciye ulaştırılması akla yakın bir çözüm olarak görünmektedir.

Hidrojenden elektrik tesislerinde üretilecek elektrik, örneğin, kentsel alanlarda, bölgesel ısıtma-soğutma amacıyla kurulacak ısı pompası

sistemleri için gerekli olan enerjiyi sağlayabilir. Hidrojenin elektrifikasyonu, işte bu bağlamda yerini bulmuş oluyor. YEK türleri ile uyumlu DC/HVDC Grid, hidrojenden üretilmiş elektrik enerjisinin uzak mesafelere taşınmasında çok uygun bir altyapı oluşturacaktır. Konuyu somutlaştırmak üzere, bölgesel bir Grid olarak tasarlanmış DESERTEC projesine burada yer vermek yararlı olacaktır.

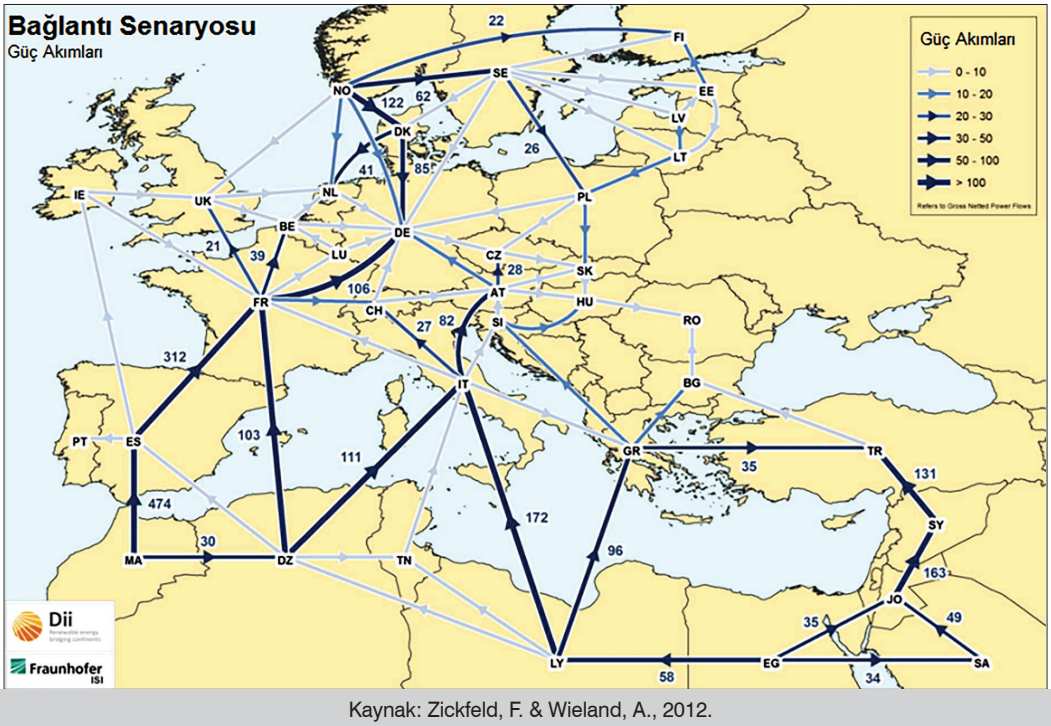
Fikir planının ortaya çıkması 2000'li yılların başına uzanan DESERTEC, Orta Doğu Kuzey Afrika (MENA) ve Avrupa Birliği (AB) ülkeleri arasında HVDC hatları vasıtasıyla bütünleşme hedefleyen bir DC GRID projesi olarak formüle edilmiştir.

Şekil 8'de projenin kapsaması öngörülen coğrafi alan yer alırken, Şekil 9'da MENA'da üretilecek, esas olarak GES ve bunun yanı sıra RES tesislerinde üretilecek elektriğin HVDC arterleri vasıtasıyla Güney Avrupa ülkeleri üzerinden AB'ye sevk edilmesi sembolik olarak resmedilmektedir.

DESERTEC, birer güneş ülkesi olan çöllerin çok büyük bir enerji potansiyeline sahip bulunduğu düşüncesine dayanıyor. Salt Sahra Çölü ile sınırlandığında, bu bölgenin Avrupa ile aynı boylamlarda yer aldığı göz önünde bulundurulursa, gerçekten de büyük bir GES potansiyeline sahip olmakla birlikte, bundan yararlanma süresi (emre amade olma) bakımından bir kazanç, kayda değer bir avantaj olmadığı görülmektedir.

Ne var ki, İran'ı da kapsamak üzere, Orta Doğu ülkeleri de hesaba katıldığında, DESERTEC DC GRİD'e bağlanacak GES (ve RES) tesisleri sayesinde güneş enerjisinden gün içerisinde (gece ve gündüz) yararlanma süresinin kayda değer şekilde artacağı dikkat çekmektedir. İran'ı da kapsayan coğrafi alanda (İran'ın doğusu 60 doğu boylamı) 6 saatlik bir zaman dilimi içinde güneş enerjisinden yararlanma olanağı doğmuş olmaktadır. Bu durumla ilgili önemli bir sonuç şudur: Doğu-Batı uzamında oluşturulacak

Şekil 8· Bağlantı Senaryosu



Kaynak: Zickfeld, F. & Wieland, A., 2012.

Şekil 9. AB–MENA (Orta Doğu Kuzey Afrika) HVDC Gridi

Kaynak: Zickfeld, F. & Wieland, A., 2012.

bir DC GRID / SÜPER GRİD, güneş ve rüzgâr gibi kesikli özelliğe sahip YEK türleri için bir yedekleme aracı işlevi de taşıyacaktır.

DESERTEC projesinin ortaya atıldığı ilk yıllarda, esas vurgu esas olarak GES ve biraz da RES üzerine olmuştur. O dönemde, hidrojen ve/veya hidrojen enerjisinin GRİD'e bağlanarak AB'ye iletilmesi konusu hemen hiç gündeme gelmemiştir. Orijinal DESERTEC ve bunu izleyen yenilenmiş fikir planlarını hayata geçirmek muhtelif nedenlerle mümkün olmamıştır. Günümüze gelindiğinde, DESERTEC 3.0 olarak adlandırılan yeni bir sürümün ortaya atıldığı görülmektedir. 2000'li yılların başında kurulan DESERTEC vakfınca, enerji sektöründe faal şirketleri bir araya getirmek ve bu suretle etkin ve güçlü bir yapıyla YEK'e geçişi ivmelendirmek amacıyla, 2009 yılında DII (Desert Industrial Initiative – Çöl Endüstriyel Girişimi) konsorsiyumu oluşturulmuştur. (DESERTEC Foundation, t.y.)

DII'nın benimsediği yaklaşım ve güncel tanımlamada, orijinal DESERTEC fikrinin dayandığı öncüllerden çok farklı olarak, DESERTEC 3.0 sürümünde hidrojen enerjisini öne çıkarılmaktadır. Buna göre, ağırlıklı olarak GES ve bunun yanı sıra RES kullanılarak üretilecek "Yeşil Hidrojen", Akdeniz tabanına döşenmiş bulunan (örneğin Cezayir – Fransa bağlantısı) doğalgaz boru hatları vasıtasıyla AB ülkelerine ulaştırılacaktır. Hidrojenin, deniz suyunun elektroliz işlemine tabi tutularak üretilmesinin hedeflendiğini de bu arada belirtelim

Bu noktada bir revizyona gerek olduğu hemen akla geliyor: Hidrojenin elektrifikasyonu… Hidrojeni taşımak yerine, hidrojenin üretildiği noktada hidrojenden elde edilecek elektrik enerjisinin HVDC hatlarıyla iletilmesi çok daha cazip bir seçenek olabilir.

YEK ve Hidrojen Enerjisine İlişkin Maliyetler

YEK'e ilişkin tartışmalarda çok sık karşılaşılan bir konu, YEK türlerinin kuruluş ve işletme maliyetleri ile ilgilidir. Maliyet ölçütünün ön planda tutulması geride kalan, 20. Yüzyıla ait bir düşünce alışkanlığından kaynaklanmaktadır. Uzunca bir zamandır, YEK – GFY karşılaştırması yapılırken maliyet, belirleyici bir parametre olmaktan çıkmıştır. Öncelikle, YEK her geçen gün ucuzlamaktadır. Dahası, mevcut sistemin ve GFY'ye dayalı geleneksel enerji paradigmasının dünyamızı getirdiği noktada,

bir yol ayrımındayız. Ölüm ile yaşam arasında kesin bir karar vermemiz gerekmektedir. Ölüm ucuz, yaşam pahalı ise hangisini seçeceğiz? GFY ucuz, YEK pahalı ise tercihimiz hangi yönde olmalıdır? "6. Büyük Kütlesel Çöküşün" eşiğinde artık tercihler söz konusu değil; gezegenimizdeki yaşamı korumak uğruna zorunluluklar kendilerini dayatmaktadır.

Sanayi ve ticaret kuruluşları ile kamuya ait mekanlar ve hane halkına, YEK dolayısıyla artan bir maliyet söz konusu ise, bunu yansıtmamak devletlerin liste başı görevleri arasında olmalıdır. Dahası, hükümetlerin başlıca görevi, ülke ekonomilerini büyütürken hane halkının gelir ve refah seviyesini arttırmak değil midir? Gelirler, dağılımın da düzenlenmesiyle, artan enerji maliyetlerini karşılayacak düzeyde kalırsa, bu durum kişi ve kuruluşlara bir yük getirmeyecektir.

Fosil yakıtlarının (GFY) maliyeti konusunda bir de madalyonun arka yüzüne bakmak gerekmektedir. IMF tarafından yayımlanan 24 Eylül 2021 tarihli raporda (Parry & Black & Vernon 2021), fosil yakıtlarına uygulanan sübvansiyonların, dışsal (dolaylı) maliyetler de hesaba katıldığında, 2020 yılı itibarıyla küresel GSMH'nin %6,8'ine karşılık gelen 5,9 trilyon dolar tutarında olduğu ve bu oranın 2025 yılında %7,4'e yükseleceğinin tahmin edildiği belirtiliyor.

Çevre kirliliği kaynaklı hastalık ve buna bağlı işgücü kayıpları ve sağlık giderleri gibi dolaylı (dışsal) maliyetler bir yana, 2017-2019 yılları arasında, 52 gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin fosil yakıtlarını, doğrudan olarak, tutarı yılda ortalama 600 milyar dolara yakın sübvansiyonlar ile desteklediklerı görülüyor (Timperley, 2021; Geddes vd. 2020). Korona salgını dolayısıyla 2020'de bu miktar geçici olarak azalmıştır.

Yukarıda anılan IMF raporuna göre, İklim Değişikliği olgusuna bağlı olarak insanoğlunun ödemekte olduğu bir de can bedeli var ki, buna bir maddi karşılık biçmek olanaksız; her yıl yaklaşık 900 bin kişiyi, dolaylı olarak, İklim Değişikliğine bağlı olumsuz çevre koşulları nedeniyle hayatını kaybetmektedir.

Yukarıda yer alan veriler temelinde sonuç ve ilk akla gelen düşünce şudur: Anılan sübvansiyonlar pekâlâ YEK'e geçiş sürecinde gerekli maddi teşvikler için kullanılabilecektir. UNDP kaynaklı bir çalışmada, fosil yakıtları için sarf edilen sübvansiyonların, küresel ölçekte yoksullukla mücadele amacıyla kullanılan kaynaklardan fazla olduğuna işaret edilmektedir (UNDP, 2021).

Sonuç

Fosil yakıtlarından tamamen ve olası en kısa süre zarfında YEK'e geçişin varoluşsal önem ve ivedilik kazandığı günümüzde, hidrojen veya daha genel ifadesiyle bir hidrojen-karbon toplumuna doğru dönüşüm ve bu yönde köklü bir paradigma değişikliği bir zorunluluk olarak ortaya çıkmıştır. YEK esaslı enerji stratejilerinde, hidrojenin giderek öne çıktığı gözlenmektedir. Hidrojen, temiz ve tükenmeyen bir enerji kaynağı olarak, yelpazesi içinde yer aldığı YEK'in, salt fosil yakıtlarıyla sınırlı olmaksızın, aynı zamanda nükleer enerjinin de yerini almaya adaydır. Elektrik enerjisi üretimi amacıyla, taşınabilir, depolanabilir özelliğe sahip hidrojen, aynı zamanda bir yakıt ve mevcut içten patlamalı motor teknolojisinin yerini alabilecek Hidrojen Yakıt Hücreleri sayesinde, ulaşımda da yaygın bir kullanım alanına sahip olacaktır. "Değişime dirençli" doğalgazdan karbon ve hidrojen üretimi sayesinde açılacak yeni bir çığırın, Ekolojik Uygarlığı karakterize edecek bir dönüşümle doğacağı değerlendirilmektedir.

Kaynakça

Barlow, I.,Tsafos, N. (2021). Russia's Hydrogen Energy Strategy, Center for Strategic and International Studies. https://www.csis.org/analysis/russias-hydrogen-energy-strategy adresinden alındı.

Basu, P. (2018). Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction (Third Edition), ISBN 9780128129920. https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/pyrolysis adresinden alındı.

Baykara, S. Z., Figen, E. H., Kale, A., Veziroglu, T. N. (2007). Hydrogen from hydrogen sulphide in Black Sea, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 32, Issue 9, Pages 1246-1250.

CEEW (2019) Electrification will shape the future: Dr Fatih Birol at Energy Horizons https://www.ceew.in/news/electrification-will-shape-future-dr-fatih-birol-energy-horizons adresinden alındı.

Chen, L., Qi, Z., Zhang, S., Su, J., & Somorjai, G. A. (2020). Catalytic Hydrogen Production from Methane: A Review on Recent Progress and Prospect. Catalysts, 10(8), 858. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/catal10080858 adresinden alındı.

Communications Department of ROSATOM (2021). Sakhalin Region, ROSATOM and Gazprom Cooperate in Hydrogen Energy. https://rosatom.ru/en/press-centre/news/sakhalin-region-rosatom-and-gazprom-cooperate-in-hydrogen-energy/

Demirbas, A. (2009) Hydrogen Sulfide from the Black Sea for Hydrogen Production, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 31:20, 1866-1872. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15567030802463844?journalCode=ueso20 adresinden alındı.

DESERTEC Foundation (t.y.). https://www.desertec.org/ adresinden alındı.

European Environment Agency, (2022). Atmospheric greenhouse gas concentrations https://www.eea.europa.eu/ims/atmospheric-greenhouse-gas-concentrations adresinden alındı.

Environment and Natural Resources (n.d). https://www.enr.gov.nt.ca/ adresinden alındı.

Favas, J., Monteiro, E., Rouboa, A. (2017). Hydrogen production using plasma gasification with steam injection, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 42, Issue 16. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319917310546 adresinden alındı.

FuelCellWorks, (2022). Electrolysis of Sea Water Could Provide aNew Boost for Hydrogen as an Energy Source. https://fuelcellsworks.com/news/electrolysis-of-sea-water-could-provide-a-new-boost-for-hydrogen-as-an-energy-source/ adresinden alındı.

Garside, M. (2022). Leading lithium producing countries worldwide 2021, Statista. https://www.statista.com/statistics/268789/countries-with-the-largest-production-output-of-lithium/?utm_source=pocket_mylist adresinden alındı.

Geddes, A, Gerasimchuk, I, Viswanathan, B., Suharsono, A., Corkal, V., Roth, J., Picciariello, A., Tucker, B., Doukas, A., Gençsü, İ. (2020). Doubling Back and Doubling Down: G20 scorecard on fossil fuel funding https://www.iisd.org/publications/g20-scorecard adresinden alındı.

Global Climate Change (n.d.) https://climate.nasa.gov/ adresinden alındı.

Haklidir, Mehmet & Kapkin, Şule (2005). Black Sea, A Hydrogen Source. https://www.researchgate.net/publication/235009808_Black_Sea_A_Hydrogen_Source adresinden alındı.

Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office, (t.y.), Hydrogen Production: Natural Gas Reforming. https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-natural-gas-reforming adresinden alındı.

IEA (t.y.). https://www.iea.org/fuels-and-technologies/hydrogen adresinden alındı.

Kalamaras, C. M., Efstathiou, A. M. (2013). "Hydrogen Production Technologies: Current State and Future Developments", Conference Papers in Science. https://www.hindawi.com/journals/cpis/2013/690627/ adresinden alındı.

Lindsey, R. (2020). Climate Change: Atmospheric Carbon Dioxide. https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide adresinden alındı.

Meier, D., van de Beld, B., Bridgwater, A, V., Elliott, D. C., Oasmaa, A., Preto, F. (2013). Renewable and Sustainable Energy Reviews,Volume 20. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032112006752 adresinden alındı.

MDPI, (n.d.) https://www.mdpi.com/ adresinden alındı.

National Minerals Information Center (t.y.). Lithium Statistics and Information. https://www.usgs.gov/centers/nmic/lithium-statistics-and-information adresinden alındı.

NOAA Global Monitoring Laboratory (2022). https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/ adresinden alındı.

NOAA Climate.gov (2022). https://www.climate.gov/news-understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide adresinden alındı.

Ozin, G., (2018). Decarbonizing Natural Gas: Methane Fuel without Carbon Dioxide. www.advancedsciencenews.com/decarbonizing-natural-gas-methane-fuel-without-carbon-dioxide/ adresinden alındı.

Parry,I., Black, S. ; Vernon, N. (2021). Still Not Getting Energy Prices Right: A Global and Country Update of Fossil Fuel Subsidies. https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2021/09/23/Still-Not-Getting-Energy-Prices-Right-A-Global-and-Country-Update-of-Fossil-Fuel-Subsidies-466004 adresinden alındı.

Robinson, D. (2021). Sixth Mass Extinction of Wildlife Accelerating-Study, August 10th 2021 https://earth.org/sixth-mass-extinction-of-wildlife-accelerating/ adresinden alındı.

Sampson, J. (2021) ENEOS, Saudi Aramco to develop blue hydrogen and blue ammonia supply chains, H_2 View. https://www.h2-view.com/story/eneos-saudi-aramco-to-develop-blue-hydrogen-and-blue-ammonia-supply-chains/ adresinden alındı.

Saudi Arabian Oil Co. (2020). World's first blue ammonia shipment opens new route to a sustainable future. https://www.aramco.com/en/news-media/news/2020/first-blue-ammonia-shipment?utm_source=pocket_mylist adresinden alındı.

Schneider, S., Bajohr, S., Graf, F., Kolb, T. (2020). State of the Art of Hydrogen Production via Pyrolysis of Natural Gas. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cben.202000014 adresinden alındı.

Sharma, T. (2021). Russia is preparing for a hydrogen energy future, Mint. https://www.livemint.com/opinion/online-views/russia-is-preparing-for-a-hydrogen-energy-future-11630477176898.html adresinden alındı.

Syed, Mahin B. (2021). Chapter 6 - Technologies for renewable hydrogen production, Bioenergy Resources and Technologies, Academic Press, Pages 157-198. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128225257000135

Timperley, J. (2021). Why fossil fuel subsidies are so hard to kill, Nature 598, 403-405. https://www.nature.com/articles/d41586-021-02847-2 adresinden alındı.

The Japan Times (2020). Saudi Arabia sends blue ammonia green fuel to Japan in world first https://www.japantimes.co.jp/news/2020/09/28/business/corporate-business/saudi-arabia-blue-ammonia-japan/ adresinden alındı.

UNDP (2021). More spent on fossil fuel subsidies than fighting poverty. https://www.un.org/africarenewal/magazine/november-2021/undp-more-spent-fossil-fuel-subsidies-fighting-poverty adresinden alındı.

University of Liège (2016). The Black Sea has lost more than a third of its habitable volume. ScienceDaily. https://www.sciencedaily.com/releases/2016/09/160901093155.htm adresinden alındı.

Volkov, I.I., Neretin, L.N. (2007). Hydrogen Sulfide in the Black Sea. In: Kostianoy, A.G., Kosarev, A.N. (eds) The Black Sea Environment. The Handbook of Environmental Chemistry, vol 5Q. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/698_5_083 adresinden alındı.

Yüksel, S., Mikhaylov, A., Ubay, G. G., & Uyeh, D. D. (2021b). The role of hydrogen in the Black Sea for the future energy supply security of Turkey. https://www.researchgate.net/publication/356144249 adresinden alındı.

Wee, Jung-Ho, Lee, Kwan-Young & Kim S. H. (2006). Sodium borohydride as the hydrogen supplier for proton exchange membrane fuel cell systems, Fuel Processing Technology, Volume 87, Issue 9, Pages 811-819. http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2006.05.001 adresinden alındı.

World of Change: Global Temperatures, (t.y.). https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/global-temperatures adresinden alındı.

Zhang, Y., Ruan, R. (2019). Gasification Technologies and Their Energy Potentials, in Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches. https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/gasification adresinden alındı.

Zickfeld, F., Wieland, A. (2012) Perspectives on a Sustainable Power System for EUMENA. http://www.desertec-uk.org.uk/reports/DII/DPP_2050_Study.pdf adresinden alındı.

Çin'in Hidrojen Enerjisi Endüstrisinin Geliştirilmesine Yönelik Orta ve Uzun Vadeli Planına Genel Bakış

BRIQ YAZIIŞLERİ

GÜNÜMÜZ DÜNYASI, BİR YÜZYILDA GÖRÜLMEYEN büyük değişimler yaşıyor. Yakın gelecekteki teknolojik ve endüstriyel yeniliklerin devrimsel olması bekleniyor. Yaşanacak değişimlerin en önemli kollarından biri de enerji endüstrinde yaşanacak değişimlerdir. Hidrojen enerjisi, giderek küresel enerji devriminin ve sürdürülebilir kalkınmanın en önemli taşıyıcılarından biri haline geliyor. Bu özet, Çin'in enerji endüstrisinin gelişimi için orta ve uzun vadeli planını yansıtmaktadır.

Yol Gösterici Fikir ve İlkeler

"Dört Devrim, Bir İşbirliği"

"Dört Devrim, Bir İşbirliği" enerji güvenliği için bir strateji terimidir. Terim, 2012 yılında Çin Komünist Partisi 18. Ulusal Kongresi'nde Genel Sekreter Xi Jinping'in talimatlarına dayanmaktadır.

"Dört Devrim" şunları ifade eder:

Gereksiz tüketimi kontrol altına alarak enerji tüketim yapısını iyileştirmek; çeşitlendirilmiş bir enerji tedarik yapısı inşa etmek; endüstri ve enerji teknolojilerini geliştirmek; enerji sektörünün daha hızlı büyümesi için enerji sistemlerini düzenlemek.

"Bir İşbirliği" ise açık bir ortamda enerji güvenliğini sağlamak için diğer ülkelerle kapsamlı işbirliği yapmayı ifade eder. (Çin Halk Cumhuriyeti Devlet Konseyi Enformasyon Ofisi, 2020)

"Salım düşüşü, Karbon nötrlüğü"

"Salım düşüşü, Karbon nötrlüğü" terimi, karbon temelli, sürdürülemez kalkınma modellerinden ekolojik uygarlığa dönüşüm hedefini ifade etmektedir.

Çin, 2025 yılına kadar temiz enerji tüketim oranını kademeli olarak yüzde 20'ye çıkarmayı hedefliyor. Bu oranın, 2030 yılına kadar yüzde 25, 2060 yılına kadar ise yüzde 80'e ulaşması planlanıyor. Yapılacak çalışmalarla beraber Çin'in karbondioksit salım oranlarının 2030 yılına kadar durağan seyretmesi, ardından azalması bekleniyor. 2060 yılına kadar Çin, çevreci ve döngüsel bir yeşil ekonomi kurmayı ve sonunda karbon nötr hale gelmeyi planlıyor. (Çin Komünist Partisi Merkez Komitesi ve Devlet Konseyi, 2021)

Atıf: Çin'in hidrojen enerjisi endüstrisinin geliştirilmesine yönelik orta ve uzun vadeli planına genel bakış. (2022). *Kuşak ve Yol Girişimi Dergisi (BRIQ)*, 3(3), 72-74

CC BY

8 Nisan 2022, Çin Uluslararası Ekonomik İlişkiler Merkezi - Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) Hidrojen Enerji Endüstrisi Zirvesi. (China Daily, 2022)

"1+N" Politikası

"1+N", "Salım düşüşü, Karbon nötrlüğü" hedeflerinin ve bu hedeflere ulaşmak için atılması gereken adımların kısa bir ifade biçimidir. İfadedeki "1", "2030, karbon salımının düşüşe geçmesi" ve "2060, karbon nötrlüğü" hedeflerini, "N" ise 2030'dan önce alınacak önlemleri ve atılması gereken adımları ifade eder.

"1+N" politikasıyla, aşağıdaki on alanda yenilikler gerçekleştirmek amaçlanmaktadır:

- Enerji üretim sistemini düzenlemek ve yeni enerji kaynaklarına dayalı temiz, güvenli ve verimli bir enerji sistemi kurmak;
- Üretimi düzenleyerek gereksiz ve yüksek enerji tüketen, yüksek salımlı endüstrilerin gelişimini engellemek;
- Enerji tasarruflu, çevre dostu bina ve altyapıların inşasını teşvik etmek;
- Düşük karbonlu bir ulaşım sistemi kurmak;
- Kaynak kullanımının verimliliğini artırmak için döngüsel bir ekonomi geliştirmek;
- Çevre dostu teknolojik yenilikleri teşvik etmek;
- Güçlü bir yeşil finansman yaratmak ve sermaye desteğini genişletmek;
- İlgili ekonomik politika ve reformları geniş kitlelere duyurmak;
- Resmi ve düzenli bir karbon ticaret piyasası kurmak;
- Doğaya dayalı çözümleri hayata geçirmek. (Zhenhua, 2020)

Hidrojen Enerjisine Verilen Stratejik Önem

"Hidrojen enerjisi endüstrisi stratejik öneme sahip bir şekilde yükseliyor. Hidrojen enerjisine geçiş, endüstrinin ana değişim yönlerinden biridir." (Ulusal Kalkınma ve Reform Komisyonu, 2022)

Çin, hidrojen enerjisini gelecekteki ulusal enerji sisteminin önemli bir parçası ve "Salım düşüşü, Karbon nötrlüğü" hedeflerine ulaşmak için bir gereklilik olarak görüyor. Hidrojen enerjisi kullanımı ile birlikte, uzun vadede toplam karbon salımını sıfıra yakın bir seviyeye indirmek hedefleniyor. 2025 yılına kadar yenilenebilir enerjiden hidrojen üretiminin 100.000-200.000 ton/yıl'a ulaşacağı ve bunun da karbondioksit

salımını 1-2 milyon ton/yıl azaltacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca 2025 yılına kadar yakıt hücreli araç sayısının 50.000'e ulaşması öngörülmektedir. (Ulusal Kalkınma ve Reform Komisyonu, 2022)

Bazı Örnek Uygulama Planları

Maden sahaları, limanlar, endüstri parkları ve çalışma yoğunluğunun yüksek olduğu diğer alanlarda hidrojen yakıt hücreli araçların kullanılması hedeflenmektedir. Yakıt hücrelerinin, ticari araçlarda, şehir içi otobüslerde, lojistik dağıtım araçlarında ve kamu hizmeti alanlarında kullanılması planlanmaktadır.

Zengin yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip alanlar ve hidrojen enerjisi talebi yüksek olan bölgeler, yenilenebilir enerji ve hidrojen üretim/depolama istasyonları ve endüstriyel merkezler haline getirilmesi planlanmaktadır. Bu merkezler desteklenerek diğer benzer işletmeler için örnek bir rol üstlenecektir.

Baz istasyonları için yakıt pili sistemlerinin uygulanması planlanıyor. Yedek yakıt hücresi sistemlerinin kullanıldığı yeni baz istasyonlarının inşa edilmesi, mevcut baz istasyonlarının bazılarında ise yakıt hücreli jeneratörlerin kullanılması hedeflenmektedir. Kademeli olarak hidrojen yakıt hücresi uygulamalarının yaygınlaştırılması, uygulama kapsamının hastaneler, okullar, ticaret merkezleri, sanayi bölgeleri, maden işletmeleri gibi alanlara genişletilmesi öngörülüyor. (Ulusal Kalkınma ve Reform Komisyonu, 2022)

Mevcut Durum Hakkında

Çin, yaklaşık 12 milyon tonu endüstriyel hidrojen kalite standardını karşılayan yaklaşık 33 milyon tonluk yıllık hidrojen üretimiyle dünyanın en büyük hidrojen üreticisidir. Yangtze Nehri Deltası, Guangdong, Hong Kong ve Makao Körfezi bölgesi, Pekin, Tianjin ve Hebei'de yoğunlaşan tüm sanayi zincirinde 300'den fazla sanayi kuruluşu bulunmaktadır. Bununla birlikte, genel olarak, Çin'in hidrojen enerjisi endüstrisi henüz gelişmenin ilk aşamasındadır. (Ulusal Kalkınma ve Reform Komisyonu, 2022)

Hidrojen enerji endüstrisinin gelişme yapısını daha detaylı anlayabilmek adına hidrojen enerjisi uygulamalarında yetkin bir örnek sayılabilecek Şanghay'daki gelişmeleri inceleyebiliriz. Şanghay'daki hidrojen enerjisi endüstriyel gelişmeleri ve gelecek planlarını konu alan, Şanghay Enerji Tasarruf Komisyonu Uzman Komitesi'nin hazırladığı **"Şanghay'da Hidrojen Enerji Endüstrisi Uygulamaları ve Gelişimi"** adlı raporu dikkatinize sunuyoruz.

Kaynakça

Çin Halk Cumhuriyeti Devlet Konseyi Enformasyon Ofisi. (2020). Full Text: *Energy in China's New Era*. http://www.scio.gov.cn/zfbps/32832/Document/1695135/1695135.htm adresinden alındı.

Çin Komünist Partisi Merkez Komitesi ve Devlet Konseyi. (2021). China maps path to carbon peak, neutrality under new development philosophy. http://english.www.gov.cn/policies/latestreleases/202110/24/content_WS61755fe9c6d0df57f98e3bed.html adresinden alındı.

Ulusal Kalkınma ve Reform Komisyonu. (2022). Hidrojen Enerjisi Endüstrisinin Geliştirilmesi İçin Orta ve Uzun Vadeli Plan. 氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）. http://www.gov.cn/xinwen/2022-03/24/5680975/files/6b388f7c324a4b1db0b30dc6f52b7e02.pdf adresinden alındı.

Zhenhua, X. (2021). China's Climate Special Envoy Speaks on Accelerating Low-Carbon Innovation Towards Carbon Peak and Neutrality. https://www.ourhkfoundation.org.hk/en/event/1606/china-masters-series/our-hong-kong-foundation-and-hkust-jointly-present-china-masters adresinden alındı.

Şanghay'da Hidrojen Enerji Endüstrisi Uygulamaları ve Gelişimi*

ŞANGHAY ENERJİ TASARRUF KOMİSYONU UZMAN KOMİTESİ

ÖZ

Çin'in enerji devriminin derinleşmesiyle birlikte, "salım düşüşü, karbon nötrlüğü" hedefi ortaya konmuş, düşük karbonlu, çevreci, güvenli ve verimli olan yeni enerji endüstrisi istikrarlı bir şekilde ilerleme kaydetmiştir. Şanghay, bilim ve teknoloji birikimi ve doğal kaynaklarına dayanarak, devlet politikalarının rehberliği ve desteğiyle, daha önce hidrojen enerjisi sanayisi ve yakıt hücresi alanında büyük gelişmeler kaydetmiştir. Hidrojen enerji sanayisi konusunda Şanghay, Çin'de öncü konumdadır. Bu rapor, Şanghay hidrojen enerjisi sanayisinin temelini, geliştirme/uygulama özelliklerini ve deneyimini tanıtmakta ve hidrojen enerjisi sanayisinin gelişimi için bazı öneriler ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çevreci büyüme, devrim, ekolojik uygarlık, hidrojen enerjisi, sanayi

Giriş

Çin'in enerji devriminin derinleşmesiyle birlikte, "salım düşüşü, karbon nötrlüğü" hedefi ortaya konmuş, düşük karbonlu, çevreci, güvenli ve verimli olan yeni enerji sanayisi istikrarlı bir şekilde ilerleme kaydetmiştir. Tüm süreç göz önüne alındığında, zengin rezervlere sahip olan hidrojen enerjisi, temiz ve yaygın olarak kullanılan ikincil bir enerji olarak geleneksel fosil yakıtları kullanımının oranını azaltmada, temiz enerji kullanım seviyesini yükseltmede, enerji sanayisini iyileştirmede büyük önem taşımaktadır. Hidrojen enerjisi sanayisi uygulamaları ve gelişimi, Çin'in enerji geliştirme ve enerji kullanım modellerinin stratejik dönüşümüne katkı sağlamaktadır. Bu sadece geleneksel anlamda kullanılan enerjinin değişimi değil, aynı zamanda enerji üretim ve tüketim yapısının yeniden inşası ve ekolojik uygarlığa dönüşümün bir adımıdır.

Şanghay, bilim ve teknoloji birikimi ve doğal kaynaklarına dayanarak, devlet politikalarının rehberliği ve desteğiyle, daha önce hidrojen enerjisi sanayisi ve yakıt hücresi alanında büyük gelişmeler kaydetmiştir. Bu süreçte ileriye dönük, yaratıcı bir şekilde koordineli çalışma teşvik edilmiştir. Hidrojen enerji sanayi zincirinin geliştirilmesi, hidrojen enerji sistemleri, yakıt hücre sanayisi ve yakıt hücreli araç kullanım sistemlerinin oluşturulmasında büyük rol oynamıştır. Bu nedenle Şanghay, Çin'de hidrojen enerji sanayisinin gelişimine öncülük etmektedir. İlgili makamlar tarafından yakın zamanda yayınlanan "Çin'deki hidrojen enerji sanayi şehirlerinin sıralaması"na göre, Şanghay, hidrojen enerjisi sanayisi gelişmişlik

* Çince metin Qikan websitesinden (http://qikan.cqvip.com/Qikan/Article/Detail?id=7105396768) alınmış, Onurcan Balcı tarafından Türkçeye çevrilmiştir.

CC BY

Atıf: Şanghay Enerji Tasarruf Komisyonu Uzman Komitesi (2022). Şanghay'da Hidrojen Enerji Endüstrisi Uygulamaları ve Gelişimi. *Kuşak ve Yol Girişimi Dergisi (BRIQ)*, 3(3), 75-87.

seviyesinde ilk sırada yer almaktadır. Genel olarak bakıldığında, Şanghay'ın bu gelişimi, hidrojen enerjisi kaynaklarına, hidrojen enerji sanayisindeki ilk hamle avantajına, üretim teknolojisinin üst düzey olmasına ve araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin iyi yürütülüyor olmasına bağlıdır.

Zengin rezerv ve geniş uygulama alanlarına sahip hidrojen enerjisi, enerji reformuna öncülük edebilir, iklim değişikliğiyle başa çıkabilir.

Şanghay'da Hidrojen Enerji Sanayisinin Gelişiminin Önemi

Hidrojen Enerji Sanayisi Uygulamaları ve Gelişimi, Ekolojik Uygarlığın Gerçekleştirilmesi İçin Önemli Bir Adımdır

Temiz bir enerji olarak hidrojen enerjisi, fosil yakıtların neden olduğu çevre kirliliğini etkili bir şekilde azaltabilir. Ekolojik çevreye verilen zarar ve kayıplar hidrojen enerjisinin gerekliliğini de yansıtır. Hidrojen enerji sanayisinin gelişimi, enerji tasarrufu, emisyon azaltma ve ekolojik uygarlık olma yolunda önemli bir adımdır. Hidrojen enerji sanayisi uygulamaları kapsamında Şanghay'da temiz enerjinin hakim olduğu çeşitlendirilmiş bir enerji tedarik sistemi oluşturacağız ve ulaşım endüstrisine rehberlik edeceğiz. Yapıların ve diğer enerji tüketim noktalarında "salım düşüşü, karbon nötrlüğü" hedefine ulaşılması, Başkan Xi'nin ekolojik uygarlık düşüncesini uygulamak için önemli adımlardır.

Hidrojen Enerji Sanayisinin Uygulamaları ve Geliştirilmesi, Enerji Devrimini Gerçekleştirmede Önemli Bir Adımdır

Zengin rezerv ve geniş uygulama alanlarına sahip temiz, esnek ve verimli ikincil enerji olarak hidrojen enerjisi, enerji reformuna öncülük edebilir, iklim değişikliğiyle başa çıkabilir ve Şanghay'da yenilenebilir enerjinin büyük ölçekli gelişimini teşvik edebilir. Ayrıca, ulaşım ve inşaat sektörü gibi alanlarda büyük ölçekli derin karbonsuzlaştırmayı gerçekleştirmek için mevcut en iyi seçimdir. Bu sebeple, hidrojen enerji sanayisinin geliştirilmesi, bir sonraki enerji devrimini gerçekleştirmede önemli bir adımdır.

Hidrojen Enerji Sanayisi Uygulamaları ve Geliştirilmesi, Gelecekteki Rekabet Gücünü Artırmak İçin Önemli Bir Araçtır

Çin'in otomobil üretiminin ana üretim üssü olan Şanghay, aynı zamanda Çin'in yakıt hücreli araç teknolojisi araştırma ve geliştirme endüstrisinin de öncüsüdür. Şanghay'ın gelecekteki endüstriyel rekabet gücü, hidrojen enerji endüstrisini geliştirme fırsatını yakalamasına bağlıdır. Hidrojen enerji endüstrisinin önemi, günümüzün büyük uçakları, yüksek hızlı trenleri, yapay zeka ve diğer teknolojileri ile karşılaştırılabilir düzeydedir. Hidrojen enerjisi kullanımı, Şanghay'ın dönüşüm ve gelişiminin gerekliliklerileriyle birlikte önceden planlamalıdır. Gelecekte Şanghay'ın rekabet gücünü yüksek tutmak için elimizdeki bu fırsattan yararlanmalıyız.

Hidrojen Enerji Sanayisi Uygulama ve Geliştirilmesi, Yeşil Endüstrinin Güçlendirilmesi İçin Önemli Bir İtici Güçtür

Hidrojen enerjisi ve yakıt hücresi teknolojisinin geliştirilmesi, Şanghay'ın yeşil endüstrisini genişletecektir. Hidrojen enerjisinin uygulama alanları oldukça çeşitlidir. Hidrojen enerjisi günlük enerji tüketiminde, ulaşımda, inşaatta ve daha birçok alanda kullanılabilir. Karbon salımını etkin bir şekilde azaltmak için metalurji gibi üretim alanlarında doğrudan kullanılabilir. Yakıt hücresi teknolojisi ise, uzun mesafe ve ağır yük taşımacılığının petrol ve doğalgaza bağımlılığını azaltmak için karayolu, denizyolu ve demiryolu taşımacılığında uygulanabilir. Bunların yanı sıra yerleşimler, ticari

mülkler vb. için enerji sağlama konusunda fayda sağlayabilir. Hidrojen enerji sanayisi, enerji üretimi, depolanması ve taşınmasından, yedek parça üretimi gibi alt uygulamalarına kadar birçok alanı kapsar. Bu alana olan yönelim, sadece geleneksel sanayi modelinin gelişimini etkin bir şekilde yönlendirmekle kalmaz, aynı zamanda yeni, çevreci, verimli bir endüstriyel zincir yaratır.

Hidrojen Enerji Sanayisi Uygulamaları ve Geliştirilmesi, Uluslararası Enerji İşbirliğinin Önemli Bir Yönüdür

Dünyada uluslararası işbirliği için birçok alan mevcut. Uluslararası toplumun işbirliğini güçlendirmesi ve hidrojen enerji sanayisinin gelişimini teşvik etmesi bir trend haline geldi. Şanghay, zengin hidrojen enerjisi kaynaklarına ve hidrojen enerjisi endüstrisinde ilk hamle avantajına sahiptir. Uluslararası işbirliği fırsatlarıyla karşılaşan Şanghay komiteleri, hidrojen enerjisi konusundaki küresel etkinlik ve projelere aktif olarak katılmalıdır. Hidrojen enerji sanayisinde kararlı bir şekilde ilerleme kaydeden Şanghay, uluslararası işbirliği mekanizmasını kurabilir ve konumunda yönlendirici bir rol üstlenebilir.

Şanghay'da Hidrojen Enerji Sanayisinin Kuruluşu

Şanghay'daki hidrojen enerji sanayisinin uygulama ve gelişimi, esas olarak aşağıdaki üç açıdan yansıtılan iyi bir temele ve koşullara sahiptir.

Hidrojen Enerji Kaynaklarının Zengin, Üretim İçin Gereken Altyapının Hazır Oluşu

Şanghay, hidrojen üretimi için zengin kaynaklarıyla Çin'de büyük bir rafineri ve kimyasal üretim üssüdür. Mevcut araştırma ve istatistiklere göre, Şanghay'daki 5 gaz şirketinin ve 2 yan ürün işletmesinin H2 kapasitesi yılda 130 bin tona ulaşabiliyor. 2 kilogram hidrojen enerjisinin, bir aracın günlük ortalama 100 kilometrelik kullanımını

Yeni SHPT (Shanghai Hydrogen Propulsion Technology) Parkı'nın dış görünümü. (Zhang Yang / Şanghay Yerel Hükümeti web sitesi, 2021)

karşılamaya yeterli olduğu düşünüldüğünde, mevcut üretim, teorik olarak 180 bin yakıt hücreli aracı yıl boyunca günlük operasyonlarında destekleyebilmektedir.

İlk Hamle Avantajı ve Teknolojinin Öncülüğü

Onuncu Beş Yıllık Plan dönemi gibi erken bir tarihte, Şanghay, ulusal yakıt hücresi araçlarının ve temel ekipmanların araştırma ve geliştirilme projelerinde yer almaya başladı. Bu süreçte Şanghay, Bilim ve Teknoloji bakanlığının "863" adlı programında listelendi. Proje desteği ile 2006 yılında Çin'in ilk hidrojen enerji istasyonu olan Anting Hidrojenasyon İstasyonu inşa edildi. Aynı zamanda bağımsız araştırma ve geliştirme kapasitesi genişletildi. Sırasıyla membran elektrot montajı (MEA) teknolojisinde, hidrojen enerji araçlarının sistem ile bütünleşmesinde, yakıt hücresi ve yüksek basınçlı hidrojen dağıtıcı teknolojisinde ve hidrojen yakıt istasyonlarının yerelleştirmesinde atılımlar yapıldı.

Üst Düzey Üretim Kapasitesi ve Zengin Deneyim

Şanghay, yeni tip enerjinin geliştirilmesi ve kullanılmasında yenilikçi, yeni tip enerjili otomobil sanayisinde ise liderdir. Şanghay'da 2020 yılı yakıt hücreli araçların satış hacmi 1.050'ye ulaşarak Çin'de ilk sırada yer aldı. 2003 yılında başlatılan "Surpass

No. 1" yakıt hücreli araçtan SAIC Maxus FCV80'in büyük ölçekli seri üretimine kadar, Şanghay'ın yakıt hücreli araç teknolojisi, Çin'de her zaman liderlik seviyesinde olmuştur.

Şanghay ayrıca tanıtım operasyonlarında zengin deneyime sahiptir. 2003 yılından bu yana, GEF/UNDP'nin (Küresel Çevre Tesisi, Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı) desteğiyle, Şanghay, "Çin'de yakıt hücreli araçların ticari gelişiminin teşvik edilmesi" konulu faz II ve faz III tanıtım projelerine art arda katılmıştır. Proje kapsamında kullanılan çeşitli yakıt hücreli araçların kat ettiği yol, toplamda 20 milyon kilometreyi aşmıştır.

Şanghay, hidrojen enerji sanayisinin uzun yıllardır desteklenmesiyle nispeten eksiksiz bir hidrojen enerjisi sanayi zinciri oluşturmuştur.

Şanghay'da Hidrojen Enerji Sanayisinin Uygulamaları

Şanghay, hidrojen enerji sanayisinin uzun yıllardır desteklenmesiyle nispeten eksiksiz bir hidrojen enerjisi sanayi zinciri oluşturmuştur. Teşvik ve uygulama koşulları temelde olgunlaşmıştır ve kademeli olarak Yangtze Nehri Deltası'na yayılarak hidrojen enerji sanayisinin bölgesel gelişimini yönlendirmiştir.

Sanayi Politikaları Kalkınmaya Öncülük Eder

Planlamanın rehberliği

Şanghay, uzun süredir hidrojen enerji endüstrisinin gelişimini ve uygulamalarını yakından izliyor. Onuncu Beş Yıllık Plan döneminde, Şanghay, "863" adlı ulusal programa katıldı ve hidrojen enerjisi yakıt hücresinin bilimsel ve teknolojik çalışmalarına odaklandı.

1) Eylül 2017'de Şanghay, "Şanghay Yakıt Hücreli Araç Geliştirme Programı"nı (yazıda "program" olarak anılacaktır) yayınladı. Program, Şanghay'ın yakıt hücreli araçlarını geliştirme çalışmalarıyla hidrojen enerji endüstrisinin gelişimini yönlendireceğini belirtiyordu.

Program, "yurtiçinde lider, uluslararası birinci sınıf yakıt hücreli araç sanayi zinciri kurma, yakıt hücreli araç teknolojisi yenilik merkezi ve endüstriyel altyapısını oluşturma" hedefini ortaya koydu. Program ayrıca, uygulama odaklı bir geliştirme modeli oluşturma, hidrojen yakıt istasyonlarının inşasını planlama, endüstri parkları oluşturma, kamu hizmeti platformları inşa etme ve Şanghay hidrojen enerji endüstrisinin gelişimi için fonlar oluşturmak için büyük çapta projeler uygulama gibi altı görevi de tanımlıyor.

2) Mayıs 2019'da, "Yangtze Nehri Deltası hidrojen koridoru yapım ve geliştirme planı" (yazıda "geliştirme planı" olarak anılacaktır) yayınlandı. Geliştirme planı, orta derecede gelişmiş bir yerleşime göre, Yangtze Nehri Deltası'ndaki hidrojen enerjisi endüstrisinin temel koşullarını dikkate alarak hazırlanmıştır. Son derece uygulanabilir plan, hidrojen altyapısının ve yakıt hücreli araçların koordineli gelişimini teşvik etmek için Yangtze Nehri Deltası hidrojen koridorunu uluslararası düzeyde bir hidrojen altyapı ağı haline getirecek.

3) Kasım 2020'de, Şanghay Ekonomik ve Bilgi Teknolojileri Komisyonu Altıncı Komitesi, Şanghay yakıt hücreli araç endüstrisinin yenilikçi gelişimi için uygulama planını ortaklaşa yayınladı (uygulama dönemi 2020-2023'tür). 2023 yılına kadar, Şanghay'da yakıt hücreli araç endüstrisinin gelişiminin "100 istasyon ve 100 milyar araca" ulaşması planlanıyor. Şu ana kadar 30'dan fazla hidrojenasyon istasyonu tamamlandı ve çalışıyor. Şanghay'da, hidrojenasyon ağı, yaklaşık 100 milyar yuanlık bir çıktı ölçeği ile ülkenin en büyüğüdür. On binden fazla yakıt

hücreli aracı ve hidrojen enerjisi uygulama ölçeği ile Şanghay, hidrojen enerji sanayisi bakımından ülke çapında lider durumda. Şanghay'daki yakıt hücreli araç endüstrisinin gelişimi uluslararası bir seviyeye ulaştı. Bu süreçte, kilit teknolojiler bağımsız olarak yönetildi, küresel pazara yenilikçi ürünler sunuldu, hidrojen enerji altyapısı geliştirildi, tanıtım ve uygulama ölçeği genişletildi.

4) Temmuz 2021'da, Şanghay Yerel Halk Hükümeti Merkez Ofisi, Şanghay'da imalat sanayisinin geliştirilmesi için 14. beş yıllık planı açıkladı. Bildiride yayınlanan başlıklar arasında;

Hidrojen enerjisi ve yakıt hücrelerinin uygulama alanlarına odaklanmak;

Elektronik güç yığınları (power electronic stacks), membran elektrotlar ve bipolar plakalar gibi önemli parçaların toplu üretimi;

Genel endüstriyel zincirin uluslararası lider seviyesine ulaşmak;

Hidrojenin verimli bir şekilde depolanması, taşınması, doldurma hızı ve güvenliğiyle ilgili teknolojik araştırmaları teşvik etmek;

Hidrojen enerji altyapısının planlanmasını ve yerleşimini hızlandırmak vardır.

Yönetim ve hizmetin iyileştirilmesi

Hidrojen enerji sanayisi, son yıllarda gelişen ve birçok yönetim departmanını içeren gelişmekte olan bir endüstridir. Hidrojen enerji sanayisinin sağlıklı ve düzenli gelişimini sağlamak için yönetim nasıl güçlendirilir ve yönetim sistemi nasıl netleştirilir? Yönetimi iyileştirmek de ilgili yönetim departmanlarının önünde önemli bir konudur. Son yıllarda Şanghay, bu bağlamda hidrojen enerjisi endüstrisi yönetim sisteminin inşasını ve geliştirilmesiyle aktif olarak ilgilenmiştir.

Şanghay, hidrojenasyon istasyonlarının yerleşim planını hazırlamıştır. Yakıt hücreli araç hidrojenasyon istasyonlarının yapım ve işletme yönetimine ilişkin tedbirler alınmıştır. İlgili onay ve yönetim tasarıları

Jiading merkezli Shanghai Hydrogen Propulsion Technology Co (SHPT) tarafından geliştirilen hidrojen yakıt hücresi sistemleriyle donatılmış on beş otobüs, Şanghay'da üç otobüs şirketine teslim edildi. (Shanghai Jiading WeChat hesabı, 2022)

açıklanmadan önce, Şanghay Yerel Hükümeti Konut ve Kentsel Kalkınma Komisyonu, ilgili yönetim departmanlarının işbirliğiyle, duruma göre hidrojen altyapısı inşaatını onaylayarak çalışmalara öncülük edecek.

Şanghay'da hidrojen enerji endüstrisinin gelişimini teşvik etmek için ilgili idari departmanlar, Şanghay'daki hidrojen yakıt ikmal istasyonlarının inşasını hızlandıracak, yakıt hücreli araçların tanıtım operasyonlarını genişletecek ve bir dizi destekleyici politika üzerinde çalışacaktır.

Şanghay Enerji Tasarrufu Komisyonu, Şanghay Petrokimya Sheneng grubu, Xinao Gas, Pujiang ve Yangtze Deltası'ndaki diğer 32 işletmeyle işbirliği yaparak "Yangtze Nehri Deltası Hidrojen Enerjisi Endüstriyel Altyapı Birliği"ni kurma çalışmalarına başladı. Bu işbirliği, Yangtze Nehri Deltası'ndaki hidrojen enerjisi altyapısına kapsamlı çözümler getirmeyi ve Yangtze Nehri Deltası'nda hidrojen enerjisi endüstrisinin gelişimini aktif olarak teşvik etmeyi taahhüt ediyor. Birliğin motivasyonu, hidrojen enerji endüstrisi zincirinde paylaşımcı, karşılıklı yarar sağlayan ilişkiler kurmaktır.

Mart 2021'de, teknolojik ilerlemeyi, ticarileştirmeyi ve hidrojen enerjisi endüstrisinin büyük ölçekli gelişimini teşvik etmek için toplumun tüm sektörlerinden kaynakları birleştirmeyi amaçlayan Şanghay Hidrojen Enerji Endüstrisi

Geliştirme Komitesi resmen kuruldu. Şanghay'da yakıt hücreli araç endüstrisinin gelişimi ve hidrojen enerji endüstrisinin yüksek kaliteli gelişimi için "100 istasyon, 100 milyar yuan (üretim ölçeğinde), 10000 araç" hedefine odaklanan komite, bilimsel ve rasyonel bir yaklaşımı teşvik ediyor. Komite, standartların oluşturulmasına aktif olarak katılıyor, çeşitli teknik ürünlerin pazarlanmasını teşvik ederek hidrojen enerji endüstrisi gelişim stratejisini aktif olarak yönlendiriyor. Komite, hidrojen enerji üretimi, depolanması ve taşınması, yakıt hücreli araç ve sistem destekleyici uygulamaları ile ilgili alan ve işletmeleri içinde barındırmaktadır. Girişimin başlangıcında üye olarak toplam 66 işletme katılım sağlamıştır.

Onuncu Beş Yıllık Plan döneminde, hidrojen enerjisi konusunda bir dizi ulusal proje üstlenilmiş, bilimsel araştırma odaklı bir model oluşturulmuştur.

Sanayinin Gelişimi

Yaklaşık 20 yıllık çabalardan sonra, nispeten eksiksiz bir hidrojen enerjisi endüstri zinciri oluşturuldu. Şanghay hidrojen enerjisi endüstrisinin gelişme özellikleri esas olarak aşağıdaki beş yönü içerir.

Hidrojen enerjisinin gelişimi nitelikli, teknolojisi ileri düzeydir

Onuncu Beş Yıllık Plan döneminde, hidrojen enerjisi konusunda bir dizi ulusal proje üstlenilmiş, bilimsel araştırma odaklı bir model oluşturulmuştur. Model, teknoloji birikiminin ve Ar-Ge temellerinin avantajlarını ortaya koydu. On birinci Beş Yıllık Plan döneminde, Şanghay, tanıtıcı bir uygulama modeli oluşturdu. Bu dönemde hidrojen yakıt ikmal istasyonları gibi altyapılar kuruldu ve hidrojen yakıt hücreli araçların tanıtım operasyonlarında zengin deneyimler elde edildi. On üçüncü beş yıllık plan döneminde Şanghay'ın hidrojen enerji sanayisi geliştirme rotası daha da netleşti ve yakıt hücreli araç endüstrisine odaklanıldı. Sıkı üretim sürecinde, 2003 yılında "Surpass No. 1", 2015 yılında "SAIC Roewe 950" hidrojen yakıt hücreli araç modelleri geliştirildi. Çin otomobil endüstrisinin en ileri teknolojisini temsil eden, toplam 400 araç satış hacmi ile dünyanın ilk yakıt hücreli hafif binek aracı olan FCV80'in seri üretimi SAIC tarafından 2017 yılında başladı. 2018'de SAIC Shenwo tarafından üretilen altı yakıt hücreli otobüs de 100.000 km hizmet vererek ticarileşmeyi başardı. Roewe 950FCV yakıt hücreli otomobil, Çin'de duyurusu ve satışı yapılan ilk yakıt hücreli otomobildir.

Başlangıç için üç sanayi kümesi oluşturmak ve sanayi zincirini tamamlamak

Yıllarca süren faaliyetlerden sonra, Şanghay'daki hidrojen yakıt hücreli araçların geliştirilmesi için başlangıçta üç endüstriyel küme oluşturuldu: Jiading'in merkez olduğu hidrojen yakıt hücreli araçların Ar-Ge'si, Lingang'ın merkez olduğu hidrojen yakıt hücreli araçların üretimi, Jinshan Chemical Zone'un merkez olduğu hidrojen enerjisi tedariği. Bunlarla beraber tüm endüstriyel zinciri kapsayan bir işletme girişimiyle sanayi zinciri tamamlandı. Şu ana kadar Şanghay'da;

9 hidrojen yakıt ikmal istasyonu inşa edilmiştir;
23 hidrojen yakıt hücresi sanayi merkezi;
21 hidrojen üretim merkezi;
18 hidrojen yakıtı endüstri merkezi
11 hidrojen yakıt hücresi sistemi endüstri merkezi oluşturulmuştur.

Öncü girişimin etkileri

Uluslararası kuruluş olan GEF (Küresel Çevre Fonu) ve UNDP (Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı)'nin desteğiyle Maliye Bakanlığı, Bilim

ve Teknoloji Bakanlığı, Pekin ve Şanghay ortaklaşa "Çin'de hidrojen yakıt hücreli araçların ticari gelişiminin teşvik edilmesi" projesini hayata geçirdi. Başlıca öncü şehirlerden biri olan Şanghay, GEF ile satın alınan 6 yakıt hücreli şehir içi otobüs de dahil olmak üzere 86 yakıt hücreli otobüs, yolcu taşıtı ve banliyö taşıtının tanıtım operasyonlarını uluslararası alanda gerçekleştiriyor. Şimdiye kadar Şanghay'da birçok satış gerçekleştirildi. Şanghay Yeni Enerji Aracı Veri Toplama, İzleme ve Araştırma Merkezi platformuna bağlı 1445 yakıt hücreli araç dahil olmak üzere toplam 1500 hidrojen yakıt hücreli araç dolaşıma sokuldu. Yakıt hücreli otobüsler ve binek araçlar peş peşe hizmet vermeye başladı. Deneme ve tanıtım amaçlı kullanılan posta araçları ve lojistik araçları toplamda yaklaşık 20 milyon kilometre yol kat etmiştir.

Hidrojen yakıt istasyonları yapımının hızlandırılması

Şanghay Anting hidrojen yakıt ikmal istasyonu Temmuz 2009'da faaliyete geçmiştir ve Şanghay'daki ilk hidrojen ikmal istasyonudur. En uzun çalışma süresine sahiptir ve Çin'deki ilk sabit hidrojen yakıt ikmal istasyonudur. Şu anda Şanghay, Jiading Bölgesi'nde 5, Fengxian Bölgesi'nde 3 ve Baoshan Bölgesi'nde 1 olmak üzere 9 hidrojenasyon istasyonu inşa etmiştir. İstasyonlar, 2020 yılında toplamda 300000 kg hidrojen ile 55000 hidrojen yakıt hücreli araca hizmet vermiştir. 2025 yılına kadar 78 hidrojen yakıt ikmal istasyonunun inşa edilmesi planlanıyor. Tamamlanan 9 istasyona ek olarak 69 istasyon daha inşa edilecek.

Yangtze Nehri Deltası'nda "yüksek hızlı hidrojen ağı" inşasının teşvik edilmesi

2017 yılında Şanghay'da, üç ila beş yıl içinde Şanghay çevresinde bir hidrojenasyon istasyon koridoru inşa etmeyi amaçlayan yatırım, inşaat ve işletme platformu kuruldu. Bu platform, Shanghai Shunhua New Energy System Co. Ltd., Linde

Şanghay merkezli China Baowu Steel Group Corp'un ana kuruluşu olan Baoshan Iron & Steel Co, Baoshan üssünü düşük karbonlu kalkınmaya örnek bir üsse dönüştürmek için büyük çaba sarf etti. (Liu Ming / China Daily)

Gas (Hong Kong) Co. Ltd., Shanghai Yidong Automobile Service Co. Ltd. ve "Shanghai Jianwan Investment Co. Ltd.'nin Nisan 2018'de yaptığı yatırımlarla kurulmuştur. "Yangtze Nehri Deltası hidrojen koridoru inşa ve geliştirme programı" Şanghay, Jiading'de resmen başlatıldı ve Şanghay, Suzhou\Nantong, Rugao ve Yancheng'in merkezler olarak belirlendiği "yüksek hızlı hidrojen şebekesi"nin inşası gündeme alındı.

Sektör Faaliyetleri

Endüstriyel avantajların kullanılması

Şanghay hidrojen yakıt hücresi endüstrisinin kurumsal projelerde ve Ar-Ge'deki mevcut girişim avantajları sayesinde, sektörün ticari boyutu gelişiyor. Şanghay, hidrojen enerjisi endüstrisinin gelişimi için temel olan, hidrojen enerjisi, yakıt hücreli araçlar, istasyon ve diğer altyapı birimlerine erken dönemde sahip oldu.

1) Kurumsal avantajlar

Son yıllarda, Şanghay'da hidrojen enerjisi yakıt hücre sanayisi etrafında birçok yetkin işletme kuruldu. Bu durum hidrojen enerjisi ve yakıt hücresi endüstrisinin gelişimi için önemli kaynaklar ve iyi koşullar sağladı.

2) Proje avantajları

12 Şubat 2018'de, Şanghay'ın ilk hidrojen enerjisi

ve yakıt hücresi endüstri parkı, Jiading, Anting'de bulunan "Huantongji Chuangzhi Şehri"nde açıldı. Hazırlanan programa göre, sanayi parkının çıktı değeri 2025 yılına kadar 10 milyar yuanı aşması öngörülüyor. Şu anda, Şanghay Hidrojen Yakıt Hücreli Araç ve Güç Sistemleri Co. Ltd., benzer alanlardaki enerji araştırma kurumları ve ilgili işletmeler endüstri parkında faaliyet göstermek için sözleşmeler imzaladılar. Bunun yanı sıra 12 işletme stratejik işbirliği anlaşmaları imzaladı.

Yaklaşık 20 yıllık çabalardan sonra, nispeten eksiksiz bir hidrojen enerjisi endüstri zinciri oluşturuldu.

3) Ar-Ge avantajları

Hidrojen enerjisi endüstrisinin gelişimini teşvik etmek ve teknolojik ilerlemeyi hızlandırmak için ortak bir güç oluşturmak amacıyla üretim, öğrenme ve araştırma faaliyetlerini beraber yürütüyor, Şanghay üniversitelerinin bilimsel araştırma teknolojisinden ve profesyonel yeteneklerinden yararlanıyoruz. Bilim ve Teknoloji Bakanlığı'nın ulusal yakıt hücresi ve güç sistemi teknolojisi araştırma merkezi olan Tongji Üniversitesi (yazıda "merkez" olarak anılacaktır), uluslararası hidrojen enerjisi ekonomisi ve yakıt hücresi ortaklık programlarının İrtibat Bürosu çalışmalarını üstleniyor. Şanghay Jiaotong Üniversitesi'nin yakıt hücresi araştırma enstitüsü, Çin'deki üniversiteler tarafından kurulan ilk profesyonel yakıt hücresi araştırma kurumudur. Ergimiş karbonat yakıt hücresi, proton değişim membranlı yakıt hücresi ve katı oksit yakıt hücresi sistemlerinde işletmelerle araştırmalar yapmış ve iyi ilerleme kaydetmiştir.

Destekleyici politikaların iyileştirilmesi

Son zamanlardaki çalışmalar, hidrojen enerjisi endüstrisinin tanıtım projeleri, teşebbüsleri çoğaltma, bilimsel ve teknolojik yenilikler üzerinedir. Finansal ve endüstriyel bakımdan çeşitli destekleyici politikaların güncellenmesi ve yakıt hücreli araçların tüm endüstriyel süreçlerini kapsayacak şekilde destek önlemlerinin getirilmesi planlanmaktadır.

1) Sanayi kümelerini genişletmek

Yeni büyük ölçekli yerli ve yabancı sermayeli projeler ödüllendirilecektir.

2) İdeal finansal destek

İdeal mali destek politikaları, hidrojen enerjisi endüstrisinin gelişimi ve hidrojen yakıt hücreli araçların gelişim sürecine rehberlik etmesi için çok önemlidir.

3) Desteğin kapsamını genişletmek

Hidrojen enerjisi endüstrisini geliştirme sürecinde, destek kapsamını daha da genişletmeliyiz. Örneğin, hidrojen enerjisi altyapısının yapımını hızlandırmak amacıyla hidrojen yakıt ikmal istasyonlarının inşası için sübvansiyonlar alınabilir.

4) Sanayide kapsayıcı olmak

Yangtze Nehri Deltası'ndaki gelişmiş petrol hidrojen istasyonları ortak inşaat planları gibi, araç ve parça endüstrisi, üniversite araştırma platformları, gösteri operasyonları ve veri toplama dahil olmak üzere altı alanı kapsayan projeler imzalandı.

Uygulama alanlarının genişletilmesi

Şanghay yönetimi, hidrojen yakıt hücreli araçların yanı sıra, hidrojen enerjisinin diğer alanlarda uygulanması konusundaki araştırmalara da büyük önem vermektedir.

1) Hidrojen yakıt hücreli yedek güç kaynaklarının yaygınlaştırılması

İstatistiklere göre, Şanghay'daki yaklaşık 12000 baz istasyonu arasında, 100'den fazlası, yedek güç kaynağı olarak hidrojen yakıt hücrelerini kullanmaktadır.

2) Hidrojen yakıt hücresi dağıtımlı güç üretimi

İlgili kurum ve kuruluşlar, yaptıkları araştırma ve keşiflerin yanı sıra gösterim projeleri de gerçekleştirmiştir. Örneğin, Shanghai Shunhua New

Energy System Co., Ltd. ve Tongji Üniversitesi, Tongji Üniversitesi Otomotiv Fakültesi binasında güç ve ısı (soğutma) kapasitesinin bir kısmını sağlamak için hidrojen yakıt hücresi kullanıyor.

Şanghay'daki ilgili işletmeler ve bilimsel araştırma enstitüleri aktif olarak araştırma yapıyor. Deniz yolu taşımacılığında, şehir içi raylı ulaşımda, cep telefonlarında ve dizüstü bilgisayarlarda taşınabilir yakıt hücrelerinin uygulamaları ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Hidrojen enerjisinin depolanması konusunda, ilgili bilimsel araştırma enstitüleri, Şanghay'ın enerji arzını göz önünde bulundurarak fizibilite araştırmaları yapmaktadır.

Şanghay'daki Hidrojen Enerji Endüstrisinin Uygulama Özellikleri

Piyasa Gelişimi Sanayi Dönemine Giriyor

On yıldan fazla süren çabalardan sonra, Şanghay, hidrojen yakıt hücresi, güç üretim sistemleri ve araç entegrasyonu gibi temel teknolojilerde ustalaştı. Hidrojen enerjisi geliştirme ve kullanımına ilişkin çeşitli gösterim projeleri ön deneyim kazanmış, değerlendirme ve belgelendirme kurumları, gösterim operatörleri ve hidrojen enerjisi altyapı inşaat işletmeleri dahil olmak üzere nispeten eksiksiz bir endüstriyel piyasa oluşturmuştur. Hidrojen enerjisi geliştirme ve kullanımının piyasadaki durumu, tamamen endüstriyel döneme girmiştir.

Teknolojinin Kullanımı Yeni Bir Döneme Giriyor

Şanghay, hidrojen enerji endüstrisinin gelişme sürecinde bilimsel, teknolojik yeniliklerin öncü rolüne büyük önem vermektedir. Şanghay yönetimi, yeni Ar-Ge kurumlarının inşasını aktif olarak teşvik ediyor, üniversiteler ve işletmelerle işbirliği yapıyor, kilit alanlarda halkla ilişkileri güçlendiriyor, hidrojen

Şanghay'da düzenlenen 4. Çin Uluslararası İthalat Fuarı'nda (CIIE) sergilenen bir hidrojen yarış arabası. (Meng Tao / Xinhua, 2021)

enerjisi alanında üst düzey yenilikçi ekipleri sektöre tanıtıyor. Tüm bu çabalar, hidrojen enerji sanayisine canlılık katmıştır.

Şu anda otomobillerin yakıt hücresi pil ömrü 5000 saati, ticari araçların ise 10000 saati aşmıştır. Hidrojen yakıt hücreli aracın motor güç yoğunluğu, geleneksel içten yanmalı motor seviyesine ulaştı, elektrik yığınlarının gücü 3,0 kW/l (litre başına kilowatt)'ye ulaştı ve üretilen güç 30 ~ 150 kW arasındadır. Bu veriler, ortalama yakıt hücresi performans verilerinin üstündedir. 70 MPa hidrojen depolama ve hidrojenasyon teknolojisine dayalı olarak, hidrojen yakıt hücreli araçların sürüş menzili 750 km'ye ulaştı. Hidrojen yakıt hücresinin en düşük çalışma sıcaklığı - 30 C'ye ulaştı. Yakıt hücresi uygulanma yelpazesi, geleneksel araçların çeşitlilik derecesine ulaştı ve kullanılan çekirdek teknoloji, gelişim dönemine girdi.

Yatırımlar Çeşitlilik Dönemine Giriyor

Enerji işletmeleri, otomobil işletmeleri ve bilimsel araştırma kurumları, hidrojen enerji endüstrisinde rekabet gücü yaratmak için hidrojen enerjisi geliştirme ve kullanım alanına girmiştir. Sektöre giren kurum ve kuruluşların kimi ticari yatırım kapasitelerini, kimi tasarım özelliklerini, kimi yenilikçiliğini, kimi ise inşa etme kabiliyetlerini kullanıyor. Çeşitlendirilmiş yatırım

yoluyla stratejik ortaklık ve projelerde çalışarak, gerekli stratejik kaynakları elde ediyor, işletmelerin büyümesini hızlandırıyor ve hidrojen enerjisi endüstrisinin gelişimi için gerekli kaynakların ve işin entegrasyonunu gerçekleştiriyorlar.

Son yıllarda, Şanghay'da hidrojen enerjisi yakıt hücre sanayisi etrafında birçok yetkin işletme kuruldu.

Özel işletmelerin ve sosyal fonların, özellikle devlete ait kapsamlı enerji şirketlerinin aktif katılımı, hidrojen enerji endüstrisinin gelişimini istikrara kavuşturdu, hidrojen enerji endüstrisinin gelişimine olan güveni artırdı ve hidrojen enerjisinin geliştirilmesi konusundaki fikir birliğini güçlendirdi.

İş Modelleri İnovasyon Dönemine Girdi

Hidrojen enerjisi gelişmelerinin piyasaya giriş döneminde, Şanghay, hidrojen enerji altyapısının inşasını ve hidrojen enerjisi araçlarının karşılıklı olarak geliştirilmesini yönlendirdi. Böylece pazar odaklı ve ticari kalkınma için iyi bir ortam yaratıldı. Hidrojen enerjisi endüstri zincirindeki ticari faaliyetlerin piyasası bir yenilik dönemine girmiştir.

İş modelleri yenilik dönemine girdi;

Hidrojen yakıt hücreli araçların ticari gelişimini desteklemek için "UNDP" projesinin kullanılması; Hizmet ölçeğini büyütmek ve maliyetleri azaltmak için Finansal Kiralama, TCO (Toplam sahip olma maliyet hesabı) ve TC (Toplam maliyet hesabı) metotlarını kullanmak; Kullanıcılara kapsayıcı, eksiksiz bir hizmet sunmak, tanıtım ve ticari operasyonlar için iyi koşullar yaratmak; Daha çeşitli uygulama yöntemleri keşfetmek, bu yeniliğin bazı boyutlarıdır.

Qingpu Endüstri Parkı, hidrojen enerjisi araçlarını kamuya tanıtacak. Çeşitlendirilmiş uygulama alanlarının genişletilmesiyle, hidrojen enerjisi endüstrisi için büyük ölçekli pazar sağlayan yeni iş modelleri keşfediyoruz.

Şanghay'da Hidrojen Enerjisi Endüstrisinin Gelişmesi İçin Öneriler

Gelişim Gereksinimleri

Şanghay'ın gelişim gereksinimlerini ve "salım düşüşü, karbon nötrlüğü" hedefini gözeterek yenilikçi, koordineli, çevreci ve paylaşımcı kalkınma konseptine bağlı kalacağız. Enerji sanayisinde düşük karbonlu bir enerji tedarik sistemi oluşturma hedefine yönelik ilerleme konusunda bilimsel bir bakış açısı benimseyeceğiz. Şanghay'daki mevcut hidrojen enerjisi kaynaklarından ve sanayi kuruluşlarından verimli bir şekilde yararlanmalıyız. Hidrojen enerji endüstrisinin farklı bağlantılarının gelişimini bilimsel olarak yöneteceğiz, hidrojen enerjisi endüstrisinin bütün bir endüstriyel zincir kümesini oluşturmaya, Yangtze Nehri Deltası'nda yüksek kaliteli bir hidrojen enerjisi endüstriyel ekosistemi oluşturmaya ve Şanghay'ı uluslararası etkiye sahip bir hidrojen enerjisi başkenti yapmaya çalışacağız.

Geliştirme İlkeleri

1) Piyasa yönelimine ve hükümet rehberliğine bağlı kalmak

Piyasanın belirleyici rolünü göz önünde bulundurarak, konumlandırma ve geliştirme yönünü belirleyeceğiz. Destek politikalarıyla, kademeli olarak hidrojen enerjisi araştırma ve uygulama pazarını geliştireceğiz. Bu süreçte, hidrojen enerji endüstrisinin tüm bağlantılarında işletmelere rol vereceğiz, piyasanın etkin olduğu, hükümet politikalarının rehberliğinde bir hidrojen enerji piyasası oluşturacağız.

2) Genel planlamaya ve düzenli gelişime bağlı kalmak

Hidrojen enerji endüstrisinin kaynaklarını koordineli bir şekilde kullanmalıyız. Endüstrinin

odak noktalarını netleştirmeli, endüstriyel kümelenmelerin planlamasını ve yerleşimini optimize ederek gelişimi bütüncül şekilde yönetmeliyiz.

3) Yenilik odaklı işbirliğine bağlı kalmak ve dışa açılmak

Hidrojen enerji endüstrisinin yenilikçi açılımı sürecinde, ortak araştırma platformlarını teşvik edeceğiz, işbirliklerini güçlendirecek ve hidrojen enerji endüstrisinin farklı alanlarında yeniliği teşvik edeceğiz.

4) Yasalara uymak ve uygulamaları yerel koşullara uyarlamak

Hidrojen enerji endüstrisinin gelişiminin nesnel yasalarına önem vermeli, hem gelişim aşamasını hem de gelişim koşullarını göz önünde bulundurarak farklı aşamalarda özel geliştirme hedefleri formüle ederek gelişmeye adım adım rehberlik etmeliyiz.

Geliştirme Hedefleri

Şanghay'daki hidrojen enerji endüstrisinin gelişimi, "iki aşamalı" strateji uygulamaktadır: İlk aşama, 2025 yılına kadar hidrojen enerjisi endüstri zincirinin düzenini tamamlamaktır. Bu aşama, hidrojen enerjisi endüstri zincirini kapsayan bölgesel bir endüstriyel küme oluşturmayı kapsar. İlk adım olarak, çekirdek sayılabilecek teknolojilerde atılımlar yapmak, uluslararası bir standarda ulaşmak, geliştirme alanlarında nispeten kusursuz bir hidrojen enerjisi endüstri altyapısı ve uygulama ağı oluşturmak ve 100 milyar yuan çıktı değeri oluşturmak hedeflenir. İkinci aşama hedefi, hidrojen enerji endüstrisini 2030 yılına kadar Şanghay'da büyük bir enerji endüstrisi haline getirmektir. Endüstriyel zincirin tüm halkaları ve çekirdek teknolojiler üzerinde uluslararası etkiye sahip olunması planlanmaktadır. Hidrojen enerji endüstrisinin büyük ölçekli ve pazar odaklı çalışmasını sağlamak için tüm şehirde hidrojen enerji endüstrisinin eksiksiz bir altyapı ağının kurulması, uygulama kapsamının genişletilmesi

Great Wall Motor'un (GWM) hidrojen enerjisi teknoloji merkezindeki yakıt hücresi test alanında bir teknisyen çalışırken. (Zhu Xudong / Xinhua, 2021)

ve Yangtze Nehri Deltası'ndaki modelin yayılması planlanmaktadır.

1) Hidrojen enerjisi endüstri teknolojisinde atılımlar

2025 yılına kadar, hidrojen enerji endüstrisi için bir dizi yenilikçi ulusal Ar-Ge platformu oluşturulacaktır. Başta yakıt hücreli araçlar olmak üzere hidrojen enerjisi sektörünün içerdiği tüm teknik değişkenler uluslararası standartlara ulaşacaktır. 2030 yılına kadar, son teknolojilerdeki bazı boşlukların doldurulması planlanmaktadır. Havacılık ve diğer alanlarda hidrojen enerji teknolojisi uygulamaları, güç üretimi, enerji depolama ve enerji tedarik sistemleri yaygınlaştırılacaktır.

2) Hidrojen enerji endüstrisinin geliştirme temelinin oluşturulması

2025 yılına kadar bir dizi hidrojen enerjisi sanayi politikası, standartları ve denetim yöntemleri oluşturulacaktır. Hidrojen enerji endüstrisinin tüm bağlantıları yapısal olarak geliştirilecektir. 2030 yılına kadar, Şanghay, hidrojen enerjisi endüstri politikalarını geliştirecek, endüstri standartlarını, düzenleyici ve geliştirici sistemini tamamlayacaktır.

3) Hidrojen enerjisi işletmelerinin yetiştirilmesinde dikkate değer başarılar elde edildi

2025 yılına kadar Şanghay, hidrojen enerjisi operasyonlarını, işletmelerin tanıtılmasını ve

kurulmasını, depolama, nakliye, yakıt hücreleri gibi önemli ekipmanların üretilmesi ve endüstriyel zincirin diğer uygulamaları için kaynak sağlamak için bir dizi kapsamlı hidrojen enerjisi endüstri parkı inşa edecek. . 2030 yılına kadar, Çin'de ve yurtdışında bir dizi etkili hidrojen enerjisi endüstrisi işletmesi, hidrojen enerjisi endüstrisi zincirinin tüm halkalarında yetiştirilecektir.

2025 yılına kadar, Şanghay'da eksiksiz bir hidrojen yakıt ikmal istasyon ve destek tesisleri ağı kurulacak.

4) Hidrojen enerjisi endüstri pazarı genişlemeye devam ediyor

2025 yılına kadar, Şanghay'da eksiksiz bir hidrojen yakıt ikmal istasyon ve destek tesisleri ağı kurulacak. Toplu taşıma araçlarında, resmi araçlarda, ticari lojistikte ve diğer alanlarda hidrojen enerjisi ve hidrojen yedek güç kaynağı sistemlerinin ticarileştirilmesine katkıda bulunacak toplu lansmanlar yapılacak. 2030 yılına kadar Şanghay, uluslararası etkiye sahip, yakıt hücreli araçların kullanıldığı bir şehir olacak. Genel teknolojik gelişimi uluslararası standartlarla senkronize, bazı teknolojileri uluslararası standartların önünde olacak. Hidrojen enerjisi alanı sivil tüketim pazarına genişletilecek ve hidrojenasyon enerji sistemleri yaygınlaştırılacaktır. Ulusal hidrojen enerji endüstrisinin uygulamalarını çeşitlendirmek, Yangtze Nehri Deltası modelini tüm ülkeye yaymak ve gelecekte enerjinin dönüşümüne rehberlik etmek planlanmaktadır.

Hidrojen Enerji Endüstrisinin Gelişimi İçin Özel Adımlar

Kurumlar

Şu anda, endüstriyel yan ürün hidrojen, Şanghay'daki hidrojen enerjisi endüstrisinin gelişimi için ana kaynaktır. Ancak hidrojen enerji endüstrisinin gelişmesiyle birlikte hidrojene olan talep büyük ölçüde artmıştır. Bu nedenle, hidrojen üretiminin ve hidrojen enerji sistemlerinin inşasının teşvik edilmesi gerekmektedir. Yakın gelecekte, endüstri yan ürünü olan hidrojen, hidrojen enerjisi üretiminin ana kaynağı olarak kullanılacaktır. Daha sonraki evrelerde, temiz ve yenilenebilir enerjilere dayanan karbonsuz üretim gerçekleştirilecektir. Bu dönemde, gösterim projeleriyle atık ısı ve rüzgar gibi yenilenebilir kaynaklardan yeşil hidrojen üretimini teşvik edebiliriz. Şanghay'daki yeşil hidrojenin üretim kapasitesini genişletmek için Lingang'da LNG enerjisinin kapsamlı kullanımına öncülük edebiliriz.

Depolama ve Taşıma

Sıvı hidrojen malzemeleri üzerindeki araştırmaları artırarak, gaz, sıvı hidrojen depolama araçlarının yerel üretimini artırmalıyız. Hidrojen depolama ve taşımada verim ve güvenliği sürekli olarak iyileştirmeliyiz. Katı hidrojen depolama ve doğal hidrojen gazının boru hatlarıyla taşınması konusunda yapılan araştırmalara destek vermeliyiz. Yakın gelecekte, konteyner ve uzun tüp treyler ana depolama ve nakliye metodu olmaya devam edecektir. Gelişimin ilerleyen dönemlerinde, maliyetleri azaltmak, uygulamaları genişletmek ve verimliliği artırmak için sıvı hidrojen istasyonları, katı hal depolama/taşıma ve boru hattı hidrojen taşımacılığına dayalı bir ulaşım ağı kademeli olarak oluşturulacaktır.

Hidrojenasyon İstasyonları

Hidrojen yakıt ikmal istasyonlarının ve ilgili altyapının yetkili departmanlarını netleştirerek planlama yönetimini güçlendireceğiz. Talebi rehber olarak alacağız, kaynakları entegre edip makul bir şekilde tahsis edeceğiz. Hidrojen altyapı ağının pazar odaklı genişlemesine dikkat ederek finansal kaynakların gücünü artıracağız. Hidrojen yakıt ikmal istasyonlarının yaygınlaştırılmasını

Yeni Hidrojen Teknoloji Parkı (SHPT) görevlendirme töreni. (Jiading Bölgesi Enformasyon Ofisi, 2021)

desteklemek için inşaat ve işletme maliyetlerini azaltacağız. Önümüzdeki dönemde hidrojenasyon altyapısının inşasını hızlandırmalı, Yangtze Nehri Deltası'nda hidrojenasyon ağının oluşumunu hedef almalı ve Şanghay'da hidrojen enerji endüstrisinin gelişim ihtiyaçlarına göre uygulamalıyız.

Hidrojen Yakıt Hücresi

Membranlar ve yakıt hücreleri gibi yerli kilit bileşenlerin güç yoğunluğu sürekli olarak gelişiyor. Gelecekte, yakıt hücrelerinin üretim ve Ar-Ge çalışmalarını entegre ederek teknolojik ilerlemeyi hızlandıran, yakıt hücre teknolojisinde yenilikçi işletmeler yetiştireceğiz Şanghay'ın yakıt hücresi teknolojisindeki temelini pekiştirecek, gelişimini destekleyerek yakıt hücresi endüstrisindeki lider konumunu koruyacağız.

Hidrojen Yakıt Hücreli Araçlar

Önümüzdeki dönemde, hidrojenli binek otomobillerin, lojistik kamyonların, resmi araçların, kentsel temizlik araçlarının ve diğer bazı özel araçların geliştirilmesine odaklanacağız. Daha sonra, sıradan yolcu araçlarının geliştirilmesine ve hidrojen yakıt hücrelerinin toplu taşıma sistemlerinde, nakliye araçlarında, havacılıkta ve diğer alanlarda kullanılmasına odaklanacağız. Yakıt hücreli araçları geçiş hakkı, düşük ruhsat giderleri gibi politikalarla destekleyeceğiz. Böylelikle yakıt hücreli araçları daha geniş kitlelerle buluşturacak, yakıt hücreli araç piyasasını canlı tutacağız.

Hidrojen Enerjisi Geliştirme ve Kullanım Alanlarının Genişletilmesi

Yakın gelecekte, Şanghay'ın gelişim sürecine cevap verecek endüstriyel değişimler arasında; enerji endüstrisinin bilimsel gelişimi, enerjinin verimli kullanımı, enerji üretim yapısının dönüştürülmesi, endüstriyel yapının düzenlenmesi, enerji tasarrufu ve emisyon azaltımı, modern enerji tedarik sistemlerinin kurulması ve iyileştirilmesi vardır. İlerleyen dönemlerde, Şanghay, hidrojen enerjisinin avantaj ve özelliklerinden tam olarak yararlanacak, hidrojen enerjisinin uygulama alanlarını sürekli genişleterek kullanımı yaygınlaştıracaktır. Kentsel enerji kaynaklarının pik azaltma kapasitelerini artıracak, enerji kaynaklarının kalitesini ve güvenliğini iyileştireceğiz.

1. Uluslararası Kuşak ve Yol İnisiyatifi Türkiye Sempozyumu: Türkiye Dijital İpek Yolu'nun Öncüsü Olacak

TÜRK-ÇİN İŞ GELİŞTİRME VE DOSTLUK Derneği ile İstinye Üniversitesi (İSÜ) işbirliğiyle 30-31 Mayıs 2022 tarihlerinde 1. Uluslararası Kuşak ve Yol İnisiyatifi Türkiye Sempozyumu düzenlendi. "Dijital İpek Yolu'nun Gelişen Ülkelere ve Türkiye'nin Dijital İpek Yoluna Katkıları" ana temasının işlendiği sempozyumda konuşmacı olarak çok sayıda iş insanı, akademisyen ve diplomat yer aldı.

Sempozyumun açılış oturumunda Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanı Mustafa Varank, Çin Dışişleri Bakan Yardımcısı konumunda olan Çin Yabancı Ülkelerle Dostluk Derneği Genel Başkanı Lin Songtian, Çin Ankara Büyükelçisi Liu Shaobin, İstinye Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Erkan İbiş, Çin Yabancı Ülkelerle Dostluk Derneği Genel Başkanı Lin Songtian ve Şanghay Üniversitesi Türkiye Araştırmaları Merkezi Başkanı Prof. Dr. Guo Changang gibi saygın katılımcılar yer aldı.

Tarımdan eğitime, ulaşım ve lojistikten finansa, turizmden kalkınmaya, birçok başlığın tartışıldığı sempozyumda iki gün boyunca toplam 11 oturum yapıldı.

Etkinliğin ana temasının "Dijital İpek Yolu'nun Gelişen Ülkelere ve Türkiye'nin Dijital İpek Yoluna Katkıları" olması, dijitalleşen dünyada ülkemizin bu alanda atılım yapmasının da önünü açtığı belirtildi.

Etkinliğin düzenleyicileri

Çin İş Geliştirme ve Dostluk Derneği (Türk-Çin İş Der), İSÜ Kuşak ve Yol Çalışmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi, ÇKP Uluslararası İlişkiler Bakanlığı Ekonomik İşbirliği Merkezi, Şanghay Üniversitesi Türkiye Araştırmalar Merkezi.

Destekleyen kurumlar

Ulusal Strateji Merkezi (USMER), BRIQ, İletişim ve İşletme Bilimleri Enstitüsü, Teori Dergisi, Bilim ve Ütopya Dergisi, Çin Türk Öğrenci Birliği.

"Mazlumlar dünyası dijitalleşmeyi insanileştirecek"

Türk-Çin İş Der Başkanı Adnan Akfırat, açılış konuşasında "20. Yüzyılda dijitalleşmenin, küresel kapitalizmin ulusal sınırları düzleştirmek için kullanıp geliştirdiğini ancak 21. Yüzyılda, dijitalleşmede de inisiyatifin gelişmekte olan ülkelere geçtiğini" söyledi. Asya Yüzyılı'nda Mazlumlar Dünyası'nın dijitalleşmeyi ABD emperyalizminin hegemonyasından kurtulmanın araçlarından biri haline getirdiğine dikkat çeken Akfırat, Çin Halk Cumhuriyeti'nin, devlet olarak dijitalleşme için devreye girmesinin bu değişimin motoru olduğunu belirtti. Akfırat, gelişmiş kapitalist ülkelerin, sömürüyü artırmak için dijitalleşmeyi bireyselliği körükleyerek, insanlık karşıtı hale dönüştürdüğünü, öte yandan

Atıf: Türkiye Dijital İpek Yolu'nun öncüsü olacak. (2022). *Kuşak ve Yol Girişimi Dergisi (BRIQ),* 3(3), 88-89.
CC BY

Mazlumlar Dünyası'nın, dijitalleşmeyi kamu hizmetlerine daha kolay ulaşmak için bir araç haline getirdiğini ve nihayet dijitalleşmeyi insanileştirdiğini söyledi. Akfırat, "Dijital İpek Yolu Sempozyumu"nu düzenlenme amacını şöyle belirtti: "Türkiye, genç ve eğitimli insan gücü, becerikli ve cesur girişimcileri gibi üstünlüklerini kullanarak, Dijtial İpek Yolu'nun kurulmasında öncü olmalı, bu sayede Kuşak ve Yol Girişimi'ni geliştirmeli ve paylaşarak gelişmeyi hedefleyen bu girişimden en çok yarar sağlayan ülkelerden biri olmalı."

Ukrayna krizi ve KYG

Zorluklar ve fırsatlar

BRIQ öncülüğünde NATO'nun Doğu'ya doğru genişlemesi ve Ukrayna harekâtının Kuşak ve Yol Girişimi'nin (KYG) önüne getirdiği zorluklar ve fırsatlar "Rusya'nın Ukrayna Harekatının Kuşak ve Yol Girişimi'ne Etkisi" başlığıyla bir hibrit forumda tartışıldı. 21 Mayıs 2022'de düzenlenen Forum, BRIQ Dergisi'nin yanı sıra; Rus Kültür Evi, Sosyalist Çin'in Dostları Platformu, Çin Türk Öğrenci Birliği ve İstanbul Kent Üniversitesi'nin de katkılarıyla düzenlendi. Forum'da 4 kıtadan ve 10 farklı ülkeden konuşmacı yer aldı.

Açılış konuşmasını ve forumun yöneticiliğini Çin İş Geliştirme Dostluk Derneği Başkanı ve BRIQ Yönetim Kurulu Başkanı Adnan Akfırat yaptı.

Adnan Akfırat konuşmasında; ABD, NATO ve AB merkezli tek kutuplu dünyanın yıkıldığını, artık inisiyatifin gelişmekte olan ülkelere geçtiğini söyledi. Daha eşitlikçi, daha adil, insan merkezli, dünyamızı ve doğamızı koruyan uluslararası bir düzen kurulduğunu belirtti.

Dünya nüfusunun yüzde 87'sinin bu operasyonda ABD ve AB'nin yanında olmadığını belirten Akfırat, sözlerini şu şekilde bitirdi: "NATO'nun Doğu'ya yayılma yolunda attığı her adım, onu mezarına daha çok yaklaştırıyor. Türkiye, Batı ülkelerinin baskılarına direnmek için, Kuşak ve Yol İnisiyatifi çerçevesinde Asya, Afrika ve Güney Amerika ile ilişkilerini geliştirmelidir."

Zhejiang Uluslararası Araştırmalar Üniversitesi'nden Prof. Dr. Ma Xiaolin ise konuşmasında 8 yıl içinde Kuşak ve Yol Girişimi'nin, katılımcı ülkelerin ticaretinde yüzde 3 ila 10 arasında bir artış yarattığına, 7,6 milyon kişinin aşırı yoksulluktan, 32 milyon kişinin orta derecede yoksulluktan kurtulmasını, tren yolları, karayolları gibi altyapıların yapılmasını sağladığına değindi. Prof. Ma, Ukrayna krizi sonrası Batı'nın tek taraflı yaptırımların finans sistemini sarstığına dikkat çekti ve ABD'nin tüm dünyaya bir alternatif sunan Kuşak ve Yol Girişimi'nin etkisini kırmak için bir şeytanlaştırma kampanyası yaptığını belirtti.

Etkinlikte Pakistan Senatörü ve Savunma Komitesi Başkanı Mushahid Hussain, Moskova Üniversitesi'nden Dr. Darya Platonova, Şanghay Üniversitesi'nden Dr. Rajiv Ranjan, Tahran Üniversitesi'nden Dr. Vali Kaleji, İngiltere'den Sosyalist Çin'in Dostları Platformu Editörü Keith Bennett, Azerbaycan Demokrasi ve İnsan Hakları Enstitüsü Başkanı Dr. Ahmed Shahidov gibi seçkin isimler de konuşmacı olarak yer aldı. Konuşmacıların "tek kutuplu düzenin sonuna gelindiği" ve "Batı ülkelerinin tek taraflı yaptırımların, uluslararası sorunları artırdığı" vurguları öne çıktı.

Kuşak ve Yol Girişimi'nin İç Nedenleri*

Zhao, L. (2021). Kuşak ve Yol Girişimi ve Batı Çin'in Gelişimi. Beijing: CITIC Press Group

LIN SHITING**

Tarih Bölümü, Sosyal Bilimler Fakültesi, Şanghay Üniversitesi

2013 YILINDA KUŞAK VE YOL GİRİŞİMİ'NİN (KYG) dünyaya önerilmesinden bu yana, 172 ülke ve uluslararası kuruluş Çin ile işbirliği anlaşmaları imzaladı ve KYG bileşeni ülkelerin kümülatif mal ticaret hacmi 9,2 trilyon dolara ulaştı. KYG, Çin ve dünyadaki bilim adamlarının yavaş yavaş dikkatini çekmeye başladı ve "umut verici bir araştırma" alanı haline geldi. Yabancı bilim adamları KYG'nin uluslararası alandaki etkisine daha fazla odaklanırken, Çinli akademisyenler KYG'nin ülke içi arka planını ve Çin'in kendi gelişimine olan önemli katkısını analiz etmeye odaklandı. Bunlar arasında, Profesör Zhao Lei tarafından yazılan *Kuşak ve Yol Girişimi ve Batı Çin'in Gelişimi*, Çin akademisinde dikkat çeken bir çalışmadır. Zhao Lei, Çin diplomasisi ve uluslararası ilişkilere odaklanan tanınmış bir Çinli siyaset bilimcidir. Halen Çin Komünist Partisi (ÇKP) Merkez Komitesi'ne bağlı Parti Okulu'nda çalışmaktadır ve aynı zamanda aralarında *Kuşak ve Yol Girişimi: Çin Medeniyetinin Yükselişi* adlı çalışmasının da olduğu birçok kitap ve makalenin yazarıdır.

Kitap ana olarak üç kısma ayrılıyor. Bölümler içindeki başlıkları da göz önüne aldığımızda toplam sekiz bölümden oluşmaktadır. Birinci kısım, Batı Çin'in KYG'ye aktif olarak katılarak dış dünyaya açılımını nasıl büyük ölçüde geliştirdiğini anlatan 1, 2 ve 3 numaralı bölümlerden oluşmaktadır. İkinci kısım 4, 5 ve 6. bölümleri içermektedir. Burada esas olarak Çin'in Batı bölgesinin Orta Asya ülkeleriyle ekonomik, ticari, kültürel ve turizm alanında işbirliğini ve "Yeşil İpek Yolu" inşaatını güçlendirerek ekonomik kalkınmada dikkate değer ilerleme kaydettiğini anlatmaktadır. Üçüncü ve son kısım ise, KYG'nin Çin'in Batı bölgesinin gelişimi

* Çeviri: İbrahim Orçun Göktürk

** Lin Shiting, Şanghay Üniversitesi, Sosyal Bilimler Fakültesi Tarih Bölümü Yüksek Lisans öğrencisidir. Adres: No.333, Nanchen Road, Baoshan District, Shanghai 200444, China. Email: lindsay2020@foxmail.com
Geliş Tarihi: 08.02.2022 Kabul Tarihi: 01.05.2022

Atıf: Lin, S. (2022). Kuşak ve Yol Girişimi'nin İç Nedenleri. [Kitap incelemesi *Kuşak ve Yol Girişimi ve Batı Çin'in Gelişimi,* Zhao, L.] *Kuşak ve Yol Girişimi Dergisi (BRIQ)*, 3(3), 90-92.

için getirdiği büyük ivmenin yanı sıra Batı ülkelerinin KYG'ye bakışını ve Çin'in tepkisi bağlamında Çin-Avrupa Demiryolu Ekspresi örneğini ele alan 7. ve 8. bölümleri içermektedir.

Kitabın ana teması, Batı Çin'de üst düzey bir dışa açılma modelini teşvik etmek için KYG'den nasıl yararlanılacağı ve insanlık için ortak bir geleceğe sahip bir topluluk oluşturma büyük planını gerçekleştirmek için KYG'nin amacı ve felsefesini açıklamaktır.

Zhao'nun kitabının ana teması, Batı Çin'de üst düzey bir dışa açılma modelinin oluşumunu teşvik etmek için KYG'dan nasıl yararlanılacağı ve insanlık için ortak bir geleceğe sahip bir topluluk oluşturma büyük planını gerçekleştirmek için KYG'nin amacı ve felsefesini açıklamaktır.

İlk olarak, KYG'nin Çin'de ülke içi ilk önemli etkisi, Batı Çin'de yüksek kaliteli dışa açılma sağlamaktır. Doğu ve Batı bölgeleri arasındaki gelişmişlik farkını azaltmak, uzun zamandır Çin hükümetinin önceliklerinden biri olmuştur. Çin hükümeti 2000 yılında "Büyük Batı Kalkınma Planı"nı ortaya koydu ve Qinghai-Tibet Demiryolu, "Güney'den Kuzey'e Su Projesi" ve "Batı'dan Doğu'ya Gaz Projesi" gibi önemli projeleri hayata geçirdi. Bu projeler, Batı Çin'deki enerji endüstrisinin gelişimini büyük ölçüde destekledi, ancak Doğu-Batı arasındaki dengesiz kalkınma sorunu hala oldukça belirgin.

Dolayısıyla KYG bu kapsamda ortaya çıkmış ve Çin'in Batı bölgesinde de Girişim kapsamında bir dizi uygulama hayata geçirildi. Sinciang-Uygur Özerk Bölgesi, havacılık alanında altyapısını sürekli olarak güçlendirdi ve KYG öncesi bir tek Urumçi'de havaalanına sahip olan bölge, şu an toplamda 21 havaalanı ile muhteşem bir dönüşüm gerçekleştirdi (Zhao, 2021: 81). Shaanxi Eyalet Yönetimi, uluslararası işbirliği anlaşmalara öncülük etti ve Kazakistan'da Aiju Tahıl ve Petrol Endüstri Parkı; Kırgızistan'da Zhongda Endüstri Parkı gibi çeşitli üretim merkezleri kurdu. Guangxi Zhuang Özerk Bölgesi, Çin-Hindiçin Yarımadası Ekonomi Koridoru'nun inşasını desteklemeye, Güneydoğu Asya Ülkeleri Birliği (ASEAN) ülkeleriyle bir "Dijital İpek Yolu" inşa etmek için işbirliğini güçlendirmeye ve ASEAN ile ortak "BeiDou Uydu Konumlandırma Sistemi"ni inşa etmeye devam ediyor. Yunnan Eyaleti, Güney Asya ve Güneydoğu Asya'ya yakın bir bölgededir ve hem bölgesel hem de uluslararası ekonomik ve ticari bir merkez inşa etmeye çalışmaktadır. 2019 yılında, dış ticaret hacmi ilk kez 200 milyar RMB'i (Yuan) aştı ve bu, Yunnan'ın KYG bileşeni ülkelerle olan toplam ticaret payının %70'inden fazlasını oluşturdu.

İkincisi, KYG ile desteklenen uluslararası işbirliği, özellikle Çin ve Orta Asya ülkeleri arasındaki olumlu sonuçlar verdi ve katılımcılar da bundan faydalandı. "Komşuluk Diplomasisi", Çin'e özgü büyük ülke diplomasisinin önemli bir parçasıdır. Orta Asya ülkeleri, sadece KYG'nin Batı'ya doğru genişlemesinin ön saflarında yer almakla kalmıyor, aynı zamanda Çin'in uluslararası işbirliğini teşvik etmek için de önemli bir rol oynuyor. KYG ortaya çıkar çıkmaz beş Orta Asya ülkesinden olumlu tepki alması bunun bir göstergesi.

Altyapı inşaatı açısından bakıldığında Çinli şirketler, Almatı Güneş Enerjisi Santrali, Almatı Rüzgar Santrali, Turgusun Hidroelektrik Santrali, Başkent Çevre Yolu (Kazakistan) ve Kamçik tüneli (Özbekistan) dahil; ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere Orta Asya'da bir dizi altyapı projesine yardım etti ve üstlendi. Angliyen-Pappu Demiryolu (Özbekistan), yerel halk için uzun süredir devam eden güç kaynağı, ısıtma, ulaşım ve diğer geçim sorunları sorunlarını çözdü.

Çinli işletmeler ekonomik ve ticari işbirliği temelinde yüksek kaliteli sermaye yatırımı ve endüstriyel teknoloji ile Orta Asya ülkelerine girerek, Çin-Kazakistan Sınır İşbirliği Merkezi, Çin-Tacikistan Endüstri Parkı ve Djizzak Endüstri Parkı gibi sanayi parkları inşa ettiler. Bu sadece bölgenin ekonomik dönüşümünü teşvik etmekle kalmıyor, aynı zamanda "kazan-kazan" temelinde bir işbirliğini de sağlıyor. Örnek olarak Ha-

zar Denizi Asfalt Tesisi, Çin ile Kazakistan arasındaki KYG'nin ortak inşaatı için önemli bir projedir. Tesis ile birlikte Kazakistan'ın asfalt talebi hızlı bir şekilde karşılandı ve aynı zamanda istihdam, personel eğitimi açısından önemli sonuçlar elde edildi.

Çinlilerin bir krizle karşılaştıklarında eski bir deyişi vardır: "Bir çubuk kolayca kırılır, ancak on çift çubuk bir araya gelerek bir yumruk oluşturur." Bu eski tarihsel bilgelik, günümüzdeki mevcut durum için de hala geçerlidir.

Toplumlar arası kültürel değişim temelinde, işgücü sevkıyatı ve altyapı teknolojisi transferi ile karşılıklı tecrübe alışverişi derinleştirildi. Denizaşırı turizm ile Orta Asya'ya giden Çinli turist dalgası yaratıldı. Uluslararası öğrenci değişim ölçeği her iki taraf açısından genişledi. Şu ana kadar Orta Asya'da 13 Konfüçyüs Enstitüsü kuruldu.

Üçüncüsü, KYG, sorumlu bir ülke olarak Çin'in dünyaya sağladığı ortak, kamusal bir üründür. Çin-Avrupa Demiryolu Ekspresi'ni ele alırsak, Çin, Avrasya kıtasının ekonomik entegrasyon sürecine derinden katılmayı umuyor. Avrasya kıtasının nüfusu dünya nüfusunun %75'ini, ticaret hacmi ise dünya toplamının %60'ından fazlasına tekabül ediyor ve ekonomik kalkınma için büyük bir potansiyele sahip. Ancak Avrasya kıtasındaki birçok ülke değişik faktörler tarafından kısıtlanmakta ve ekonomik kalkınmanın ortak meyvelerini paylaşamamaktadır.

Çin-Avrupa Demiryolu Ekspresi tarafından getirilen ürün, personel ve hizmetlerin sınır ötesi akışı, bu ülkelere gelişme için eşi görülmemiş fırsatlar sunmaktadır. Çin-Avrupa Demiryolu Ekspresi, 2011 yılında tek hat (Çin-Almanya arası Chongqing-Duisburg) olarak hizmete açılmıştır. Fiyat, hız ve hizmet avantajları ile Batı, Orta ve Doğu olmak üzere üç ana kanal üzerinde oluşturmuştur. Tekstil, elektronik ürünler ve kauçuk gibi hammaddeler, Güneydoğu Asya'dan Orta Asya ve Avrupa'ya ihraç edilebilir ve hızlı hareket eden mallar, makineler ve demir dışı metal ürünleri Avrupa'dan Güneydoğu Asya, Japonya ve Güney Kore'ye ihraç edilebilir. (s. 248).

Bu kitap ayrıca Konfüçyüsçülüğün KYG üzerindeki etkisini de açıklamaktadır. Prof. Zhao, KYGnin felsefesini açıklamak için iki kavram öneriyor: Biri "Konfüçyüs Düşüncesinin İyileştirilmesi" ve diğeri "Mensiyus Düşüncesinin Optimal Edilmesi" (Zhao, 2021: 177). "Konfüçyüs Düşüncesinin İyileştirilmesi", kişisel çıkarlar ile toplumsal çıkarların yakından ilişkili olduğunu ve ancak toplumun çıkarları gerçekleştirildiğinde kişisel çıkarın gerçekleştirilebileceğini vurgular. "Mensiyus Düşüncesinin Optimal Edilmesi" ise bireysel çıkarların ve grup çıkarlarının bir arada var olduğunu ve birlikte teşvik edildiğini vurgular. Yalnızca yeterli işbirliğine ve uyumlu ilişkilere sahip topluluklarda, grup üyelerinin bireysel çıkarları en iyi şekilde gerçekleştirilebilir.

KYG'de, herhangi bir ülkenin çıkarı, diğer ülke çıkarlarıyla ilişkilidir. Bu da "Konfüçyüs Düşüncesinin İyileştirilmesi" fikrini yansıtır. İşbirliği yapılan konuların çeşitliliğine ve tamamlayıcılığına saygı duymak, "Mensiyus Düşüncesinin Optimal Edilmesi" fikrini somutlaştıran KYG'nin pratik konseptidir.

1500'lerdeki Coğrafi Keşifler'den bu yana içinde yaşadığımız dünya bir bütün haline geldi. Ekonomik işbirliği ve savaşlar, dünya üzerindeki bağları derinleştirdi ve COVID-19'un pandemi haline gelmesi, onu daha önce hiç olmadığı kadar güçlendirdi. Çinlilerin bir krizle karşılaştıklarında eski bir deyişi vardır: "Bir çubuk kolayca kırılır, ancak on çift çubuk bir araya gelerek bir yumruk oluşturur." Bu eski tarihsel bilgelik, günümüzdeki mevcut durum için de hala geçerlidir. Tarih, Çin kültürünün kapsayıcılığı ilkesine bağlı kalmanın ve KYG aracılığıyla insanlık için ortak bir geleceğe sahip bir topluluk inşa etmenin kalıplaşmış bir slogan değil, tüm dünya için üzerinde durulması gereken ve canlı bir uygulaması olduğuna tanıklık edebilir.

FOTOĞRAF

CARL GUSTAV MANNERHEIM

Yangişar'daki çömlek atölyesinin avlusu*

Mannerheim Asya Seferi, Çarlık Rusya tarafından başlatılan ve Albay Baron C. Gustav Mannerheim tarafından Mart 1906'dan Aralık 1908'e kadar yürütülen, Qing İmparatorluğu'nun kuzey ve batısındaki hakimiyet altındaki bölgelere yaptığı keşif seferidir. Mannerheim, Haziran 1906'nın sonunda, fotoğraf makinesi ve işlenmesi için kimyasal reaktiflere sahip iki bin cam fotoğraf plakası da dahil olmak üzere 490 kg eşyayla birlikte trenle St. Petersburg'dan ayrıldı. Carl Gustav Mannerheim Çin'e giderken ülkenin Kuzey ve Batı'sında birçok bölgeyi ziyaret etti ve bir dizi eşsiz fotoğraf çekti.

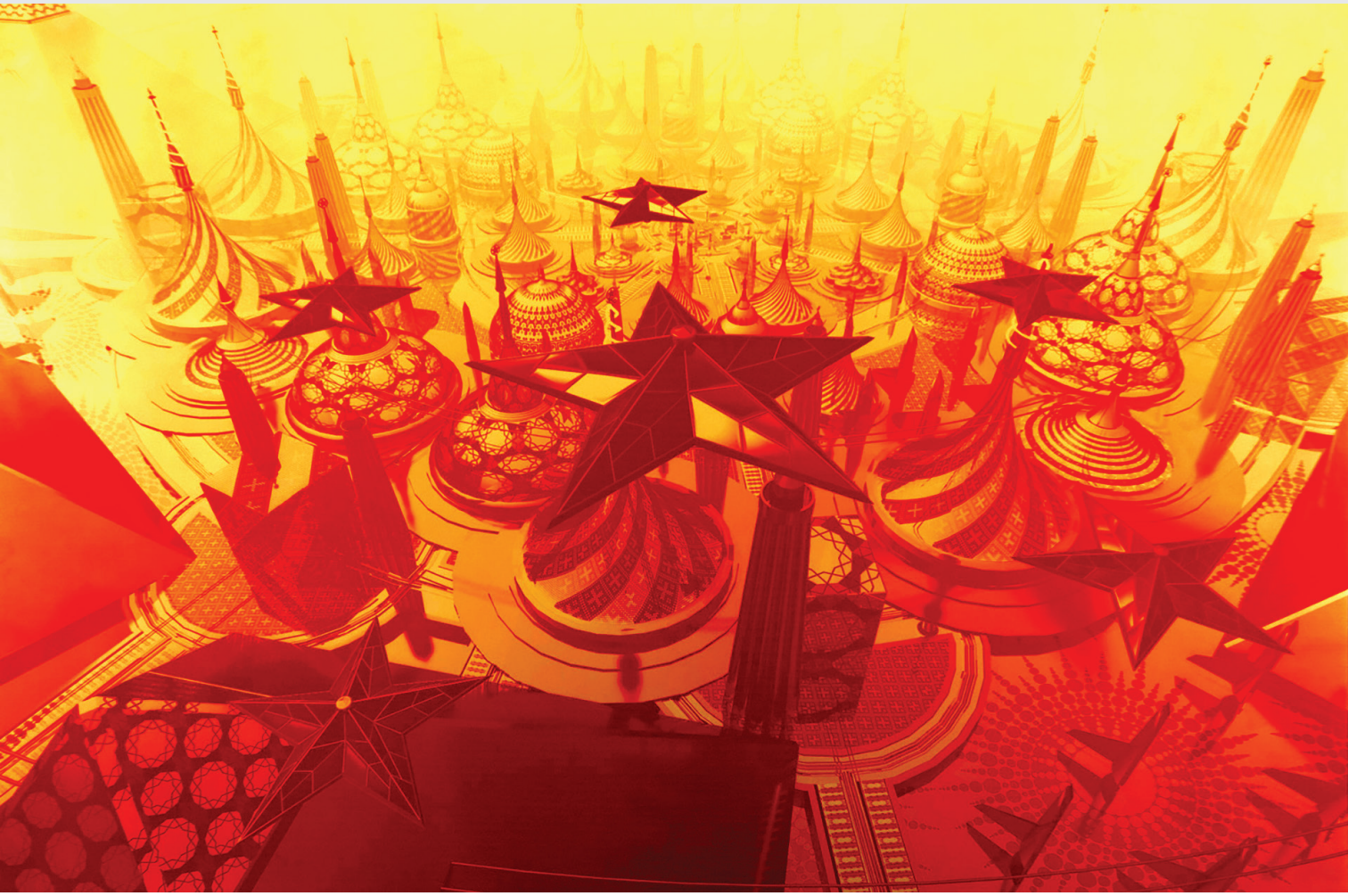
*https://humus.livejournal.com adresinden alındı.

CC BY

Atıf: [Carl Gustav Mannerheim tablosu]. (2022). Yangişar'daki çömlek atölyesinin avlusu. *Kuşak ve Yol Girişimi Dergisi (BRIQ)*, 3(3), 93.

RESİM

ALEKSEY BELIAYEV GUINTOVT



Süpernova Moskova*

Rus çağdaş resim sanatının önemli isimlerinden Aleksey Beliayev Guintovt, 1965 yılında Moskova'da doğdu. 1988 yılında Moskova Moskova Havacılık Enstitüsü, Şehir-Bölge Planlama Bölümü'nden mezun oldu. Guintovt, cesur ve eşsiz eserleriyle öne çıkıyor. Güçlü çizgileri, geleneksel ve öncü Rus sanatından, Konstrüktivizm (Yapımcılık) eğiliminden ve tarihsel Sovyet temasıyla birleşiyor. Resimleri Tretyakov Galerisi, Rus Müzesi, Moskova Modern Sanat Müzesi'nin yanı sıra onlarca başka müze ve birçok özel sanat koleksiyonlarında yer almaktadır. 2008 yılında Kandinsky ödülüne layık görülen sanatçı, Rus çağdaş sanatında özel bir üslubu teşvik ediyor ve resimlerinde Ortodoks kilisesi, Sovyet İmparatorluğu ve Yunan mitolojik kahramanlarından oluşan ilgi çekici ütopyalar yaratıyor.

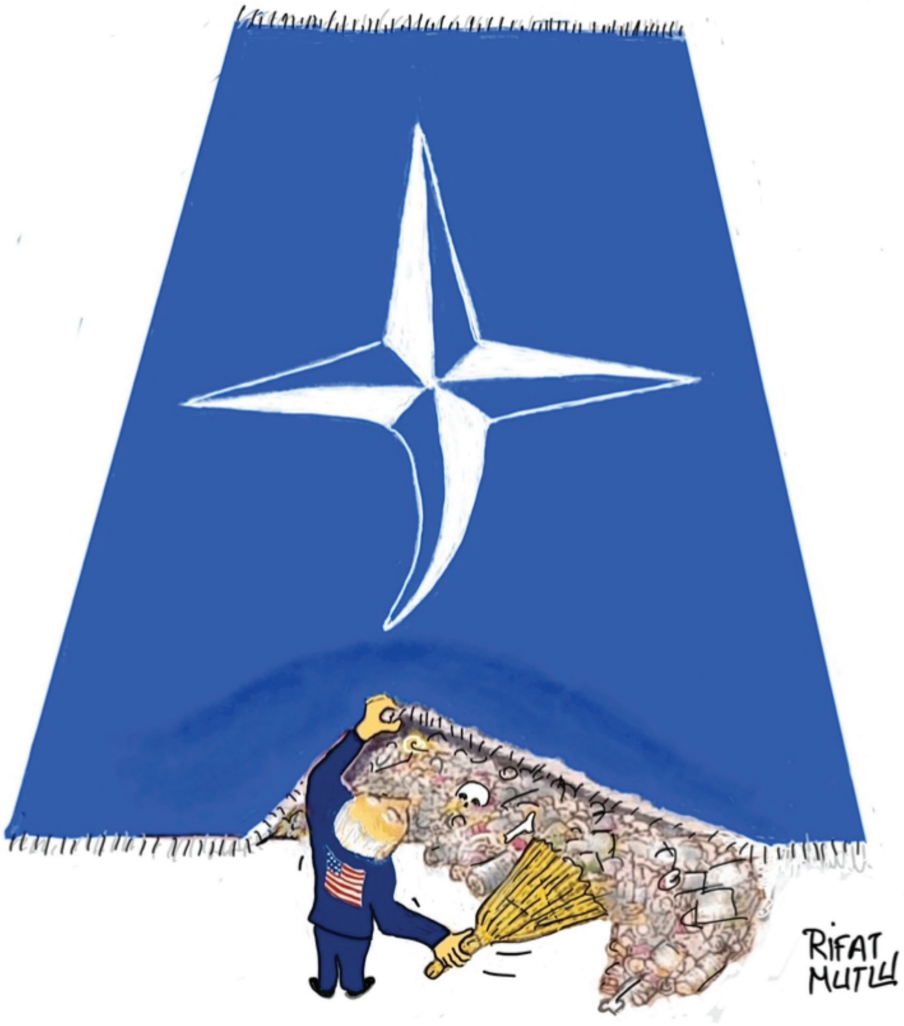
* Aleksey Beliayev Guintovt. "Süpernova Moskova" 2012. MDF üzerine, Mürekkep baskı, yazarın avuç içi baskısı. 150/100 cm.

Atıf: : [Aleksey Beliayev Guintovt tablosu]. (2022). Süpernova Moskova. *Kuşak ve Yol Girişimi Dergisi (BRIQ)*, 3(3), 94.

CC BY

KARİKATÜR

RİFAT MUTLU



Rifat Mutlu, Beyin-sinir cerrahisi (Nöroşirurji) uzmanı tıp doktorudur. Bu süreçte İzmir Tabip Odası yönetimine seçilerek görev yaptı. Engellilerin cerrahisi konusunda araştırma ve çalışmalar yapan İsveç'teki Umea ve Upsala üniversitelerinde çalıştı. Türkiye'ye döndükten sonra kamu hastanelerinde beyin cerrahisi uzmanı olarak çalışan Mutlu, görev alanı engelliler, korunmaya muhtaç çocuklar ve yaşlılar olan Sosyal Hizmetler ve Çocuk Esirgeme Kurumu İzmir İl Müdürü olarak görev yaptı. 1999 yılında, İzmir Büyükşehir Belediyesi Genel Sekreter Yardımcısı olarak göreve başlayan Mutlu, Türkiye'deki ilk Acil Kurtarma Sağlık Projesi olan "AKS-110"u kurdu. Yine görev alanında olan Engelliler ile ilgili "Engelli Meclisi" ve "Engelli Gençlik Merkezi"ni oluşturdu. Karikatürcüler Derneği üyesi olan Rifat Mutlu, 2012-2014 sürecinde Karikatürcüler Derneği İzmir temsilcisi olarak görev yaptı. 2004-2011 yılları arasında "Birileri" başlıklı band karikatürleri yerel ve ulusal basında düzenli olarak yayınlandı (Cumhuriyet Gazetesi). Yayınlanmış "İki Gözüm İki Çeşme" ve "Birileri" isimli iki karikatür albümü ile "Karikatürlerle Anadolu Fıkraları" isimli karikatür kitabı bulunmaktadır. 11 kişisel karikatür sergisi açan Rifat Mutlu, yurtiçi ve yurt dışında çok sayıda karma karikatür sergisine katıldı. Halen, Aydınlık Gazetesinde siyasi karikatür çizen Mutlu, Vatan Partisi Merkez Yürütme Kurulu üyesidir.

CC BY

Atıf: [Rifat Mutlu karikatürü]. (2022). *Kuşak ve Yol Girişimi Dergisi (BRIQ)*, 3(3), 95.