



Hidrojen Enerji Sistemleri

Hydrogen Energy Systems

Mahmut Yardımcıoğlu¹ Hüseyin Samet Tunçbilek²

¹ Prof. Dr., Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Muhasebe ve Finansman, Kahramanmaraş, Türkiye, e-mail: mahmutyardimcioglu@gmail.com, Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1335-8357>

² Yüksek Lisans Öğrencisi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Kahramanmaraş, Türkiye, e-mail: samtnclbk@gmail.com, Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-5408-1420>

ÖZ

Türkiye’de ve dünyada gelişmekte ve geliştirilmekte olan hidrojen enerji sistemleri hakkında detaylı bilgilere çalışmamızda yer verilmiş olup detaylı bir şekilde bu sistemlerin ne kadar faydalı olduğunun yanı sıra çevremiz açısından ve maddi açıdan enerji kaynakları içerisinde hem daha verimli olduğundan hem de daha çevre dostu olduğu anlatılmaya ve aktarılmaya çalışılmıştır. Günümüz dünyasında hali hazırda kullanılan enerji kaynaklarının birçoğu tükenme tehlikesi altına girmiş olması sebebiyle kullanım maliyetinin de gün geçtikçe artıyor olması hidrojen enerji sistemlerinin değerini ve önemini artmakta olduğuna vurgu yapılmak istenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrojen, Enerji, Sistem, Fosil Kaynak, Sürdürülebilirlik , Verimlilik , Maliyet , Yakıt , Yenilenebilirlik , Kalkınma , Elektrik, Doğal Kaynak.

Citation: Yardımcıoğlu, D., & Tunçbilek, N. (2025). Hydrogen energy systems. *Journal of Western European Social Sciences*.2(1)

Corresponding Author:

Hüseyin Samet Tunçbilek

Email: samtnclbk@gmail.com



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

ABSTRACT

Detailed information about hydrogen energy systems that are being developed in Turkey and around the world is included in our study, and it is explained in detail how beneficial these systems are, as well as being more efficient and more environmentally friendly in terms of energy resources in terms of our environment and financially. tried to be transferred. It is wanted to emphasize that the value and importance of hydrogen energy systems are increasing, as many of the energy resources currently used in today's world are in danger of depletion and the cost of use is increasing day by day.

Keywords: Accounting, History of Accounting, Accounting Developments, Accounting today, Accounting Techniques, Accounting Concepts

1.GİRİŞ

Dünyadaki enerji talebinin yüksek bir kısmını karşılayan fosil kaynaklar hem giderek azalmakta hem de çok ciddi hava ve çevre kirliliğine sebebiyet vermektedir. Hidrojen, bir enerji taşıyıcısı olarak bu problemlerin çözümü için bir seçenek sunmaktadır. Bu sebeple son yıllarda hidrojen enerji ve enerjileri hususunda ciddi bir çalışma ve bu çalışmaları geliştirme faaliyetleri sürdürülmektedir. Temiz ve yenilenebilir hidrojen enerjisinin dünyamızdaki artan enerji talebini üstleneceği bir gelecek için gelişmiş ülkeler çok yoğun ve titiz bir şekilde büyük çaplı teknolojik çalışma ve yapılan çalışmaları geliştirme programları yürütmektedirler (İder S., metalurji.org.tr, 09.11.2024).

Hidrojen, günümüzde potansiyeli çok yüksek bir enerji taşıyıcısıdır ve dünyanın fosil yakıtlardan uzaklaşma eğilimi açısından da çevresel bir yaklaşım sağlayan bir seçenektir. Ne kadar halen fosil yakıtlar, hidrojen üretiminde daha çok kullanılsa da yenilenebilir kaynakların tercihi de oldukça dramatik artmaktadır. Hidrojen üretimi ve depolanmasında da suyun elektrolizi ve yakıt pilleri de en iyi seçeneklerden biridir (Akçi , Mayıs ,2022).

Hidrojen dünyamızda en çok bulunan enerji kaynaklarından birisidir. Su, oksijen ve hidrojenden oluşmaktadır. Akarsularda ve denizlerimizde yüksek miktarlarda bulunmaktadır. Hidrojen doğamızda saf bir şekilde bulunmamaktadır. Sadece çeşitli yöntemler ile elde edilmektedir. Bu nedenle yenilenebilen bir yakıt türüdür. Bunun yanı sıra diğer yakıtlar arasında çevresel anlamda en temiz olanıdır. Birincil enerji kaynakları kullanarak hidrojen üretilip bunun gereksinim duyulan yerlere iletilerek çeşitli yöntemlerle enerjiye çevrilmesine hidrojen enerji sistemi denir (İder S., metalurji.org.tr, 09.11.2024).

Hidrojen yakıtının en geniş kullanım alanı ulaştırma sektörü (araba, yolcu otobüsü, uçak, tren ve diğer taşıtlar) olmaktadır. Hidrojen günümüzde bir yakıt tipi olarak uzay mekiklerinde ve roketlerde kullanılmaktadır. Düşünülen diğer kullanım yerleri ise mobil uygulamalar (cep telefonu, bilgisayar, vs) ve yerleşik uygulamalar (yedek güç üniteleri, uzak mekanlarda güç gereksinimi, vs) dır (İder S., metalurji.org.tr, 09.11.2024).

Hidrojen enerjisi hususunda son zamanlarda ortaya çıkan gelişmeler, 2010 yılından sonra hızlanan bir süreç içinde hidrojenin özellikle ulaştırma sektöründe farklı yakıtlar yerine kullanılacağı bir geleceği gün yüzüne çıkarmaktadır. Bu çerçevede hidrojen gazının çeşitli imalat tesislerinden tüketim merkezlerine ulaştırılması için ihtiyaç duyulan dağıtımın altyapısı ve hidrojen merkezleri de yer almaktadır (İder S., metalurji.org.tr, 13.11.2024).

Yapılan bu çalışmada Dünyadaki ve Ülkemiz Türkiye'deki Hidrojen gazı ve Hidrojen enerji sistemleri ile alakalı bilgilere yer verilmiş olup, Hidrojenin ve Hidrojen gazının üretilmesi aşamasından

başlayarak avantajlarından dezavantajlarına, ülkemizi dünyadaki diğer ülkelere nispeten geliştirmekte olan bir ülke konumundan gelişmiş olan ülke konumuna getirebilecek büyük bir fırsat olduğundan , fosil yakıt kullanımının giderek arttığı dünyada hem üretim anlamında hem de maliyet anlamında karşılaştırma yapıldığında fosil yakıtların daha maliyetli olduğu anlaşılabilecek ve hidrojen gazının daha avantajlı olduğu görülecektir.

2.HİDROJEN ENERJİ

2.1. Hidrojen enerji tanımı

Hidrojen enerjisi, hidrojen gazının kullanılmasıyla elde edilebilen bir enerji kaynağıdır. Bu enerji, çeşitli yöntemlerle üretilebilir ve genellikle temiz bir alternatif enerji olarak kabul edilir (EIF,2024). Hidrojen, bu evrendeki en basit ve en bol element olmakla birlikte diğer kimyasal elementlerle kolayca birleşir ve Dünya'da her zaman başka bir maddenin (su, amonyak, metan, selüloz vb.) parçası olarak bulunur (Akçi H.,2022). En saf kimyasal biçiminde, iki proton-nötron çiftinin (H₂) moleküler bağı olarak bulunur ve ortam sıcaklığında gaz halindedir, 252.9 °C'de sıvılaşır ve -259.1 °C'de katılaşır. Tüm gazların en düşük yoğunluğuna, ancak en yüksek gravimetrik kalorifik değere sahiptir (Akçi H, 2022).

Hidrojen, evrende direk kullanabileceğimiz bir formda bulunmamaktadır fakat çeşitli kaynaklardan elde edilebilmektedir (Akçi H., 2022). Hidrojen hem enerji üretiminde hem de enerji depolanmasında kullanılabilir. Günümüzde hidrojen enerjisinin yenilenebilir enerji kaynaklı üretimi artış göstermektedir, termokimyasal çevrimler, suyun elektrolizi ve güneş enerjisi de yenilebilir kaynakların içinde en iyi tercihlerden biridir (Akçi, 2022).

2.2.Hidrojen enerjisi

Son tüketiciye enerji "yakıt" ve/veya "elektrik" biçiminde sunulmaktadır. İkincil enerji kaynağı olan elektriğin de birçok kullanım avantajlarının bulunmasına rağmen, teknolojimiz sadece elektrik enerjisine bağlı olarak değil, yakıt kullanım ihtiyacını da doğuracak şekilde geliştirilmiştir. Bu şekilde olmasının sebebi, genel enerji tüketimimizin %60'lık bir kısmının ısı şeklinde gerçekleşmesidir (Şenaktaş B.,2005).

Birincil enerji kaynaklarının, fiziksel durum farklılıkları içerecek şekilde dönüşüm sağlanması ile elde edilen ikincil enerjilere, "enerji taşıyıcısı" denir. Elektrik 20. yüzyıla damgasını vuran bir enerji taşıyıcısıdır. Hidrojen ve hidrojen enerjisi 21. yüzyıla damgasını vuracak bir diğer enerji taşıyıcısıdır (Şenaktaş B.,2005).

2.2.1.Dünyada hidrojen enerjisi

Amerika'da yakıt pillerini çeşitli yönleriyle inceleyen 200'den fazla araştırma ve geliştirme çalışması NASA tarafından desteklenmiştir. Bugün, Apollo ve Space Shuttle görevlerinde güvenli olarak elektrik (ve su) sağlamış olmaları nedeniyle, yakıt pilleri uzaydaki rollerini ispatlamış bulunmaktadır. Bu incelemeler, 1960'lı yıllarda, yakıt pillerinin dünyanın enerji problemlerinin tamamına çözüm olabileceği düşüncesine yol açmış ve 1970'li yılların başlarından itibaren incelemelere başlanmış, 2000'li yıllarda ise birçok ülkenin enerji politikalarında önemli bir ölçekte yer verilmeye başlamıştır (Kükreer B.,2007).

Brezilya'da ve Güney Amerika'da en büyük hidro-güç tesisi Haipu'da kurularak elektrolitik hidrojen üretilmektedir. Japonya'da WE-NET (World Energy Network) projesi ile Tokyo metropoliten

bölgesinde hidrojen kullanımı ile oluşacak azot oksit salınımlarındaki (emisyonundaki) azalma potansiyeli araştırılmaktadır. WE-NET Programı Japonya'nın Uluslararası Ticaret ve Endüstri Bakanlığı'nca desteklenmektedir. Bu kadar 4 milyar \$'lık bir bütçe ayırmıştır. Önümüzdeki yıllarda da Pasifik elektrolizle hidrojen ve hidrojen enerjisi üretimi planlamaktadırlar. Ayrıca, Japonya önümüzdeki 20 yıl içinde 15 milyon hidrojenle çalışan otomobil üretimleri için karar alınmıştır.

Halen Japonya'da Tokyo Electric Company tarafından kurulan 11 MW'lık elektrik santrali Rokko adasının elektrik ve ısı ihtiyacını karşılamakla birlikte, kapasiteleri 50 ile 500 MW arasında değişen yüzlerce yakıt pilli tesis bulunmaktadır. Sadece Tokyo'da şehrin elektrik ihtiyacının 40.000 kW'lık bölümü hidrojen ile dolayısıyla hidrojen enerji sistemlerinden sağlanmaktadır. Honda araştırma ve geliştirme bölümü doğal gazdan yakıt pilli araçlar için hidrojen üreten, elde edilen elektriğin ve sıcak suyun yine üretildiği evde kullanımını sağlayan "Hidrojen Ev Enerji İstasyonu" (HEİ) adlı proje başlatmıştır. Proje çerçevesinde California'da deneysel amaçlı kurulan evde çalışmalar hidrojen ve hidrojen enerjisi üretimi, depolanması ve yakıt olarak kullanılması gerçekleştirilecektir (Kükürer B.,2007).

Almanya'da Münih havaalanında çalışan binek araç ve otobüslerin hidrojen enerjisi kullanması yönündeki projenin yanı sıra Neurenburg yakınlarında mini bir hidrojen enerji sisteminin kurulduğu bir çalışma sürdürülmektedir (Kükürer B.,2007).

Solar-Wasserstoff-Bayern, burada güneş'ten hidrojen üretim tesisi, depolama sistemi ve hidrojenden en verimli bir şekilde istifade edilecek sistemleri kurmuştur.

Almanya ayrıca Suudi Arabistan ile ortak yürüttüğü Hysolar programı ile Suudi Arabistan'ın Riyad yakınında güneş-hidrojen ve hidrojen enerjisi üretim tesisi kurmayı planlanmaktadır. Suudi Arabistan hidrojeni ihraç edecektir. Ayrıca Almanya 1800 km'lik Hidrojen Otoyolu ile önemli il ve ilçeleri arasında hidrojenli yolcu taşıtları ile yolculuk yapanlara yakıtlarını tedarik edebilecekleri hidrojen pompa istasyonları inşa etmektedir.

İzlanda'da hükümet, üniversiteler, taşıma firmaları, fabrikalar ve çok uluslu otomobil (binek araç) ve petrol üretim firmaları konsorsiyumu oluşturulmuş ve 2030 yılına kadar İzlanda'nın tamamen hidrojene dayalı hidrojen enerjisine geçilmesi planlanmıştır (Kükürer B.,2007).

Dünyanın ilk hidrojen dolun istasyonu Shell tarafından Danimarka'ya bağlı olan İzlanda'da açılmıştır.

Bunlara ilave olarak İspanya'da INTA solar hidrojen enerjisi tesisi, İtalya, Almanya, Norveç'te SAPHYS küçük ve orta ölçekli fotovoltaik-hidrojen enerji sistemi ve Almanya'da PHOEBUS pilot tesisi gibi birçok çeşitli çalışma yürütülmektedir. Günümüzde hidrojenle çalışan yüzlerce otomobil, otobüs, uçak gibi araçlar günümüzde dünyanın her kesiminde yolcu ve yük taşımaktadır.

Airbus şirketi yakın gelecekte hidrojen ve hidrojen enerjisi ile çalışan uçakları işletmeye alacağını bildirmiştir. 2004 yılı Nisan ayında Kaliforniya'da "Hidrojen Otoyolları" hidrojen dolun tesisi sayısını 6 yıllık kısa bir sürede 200'e çıkartılmak istenmektedir (Kükürer B.,2007). Bir Diğer büyük ölçekli başarılı program ise Avrupa ve Kanada arasındaki Euro-Quebec'tir. Bu programda nispeten ucuz olan hidrojen gücünden üretilerek Kanada'dan Avrupa'ya ithal edilecek sıvı hidrojenin deniz aşırı taşınmasını ve depolanmasını araştırmaktadır (Kükürer B.,2007).

2.2.2. Türkiye’de hidrojen enerjisi

Dünyamızda hidrojen enerjisi ile alakalı çok fazla olumlu durum yaşanırken, ülkemizdeki hidrojen enerjisi konusunda yapılan çalışmalar ise birçok engel ile karşılaşmıştır (www.hidrojenenerji). Türkiye’de hidrojen ve hidrojen enerjisi alanında yapılan çalışma ve incelemeler özellikle son yıllarda hız kazanmıştır. Günümüzde de giderek artan enerji ihtiyacı ile bu çalışmaların daha da artacağı düşünülmektedir (Kükrer B.,2007).

Ülkemizin gelişmiş bir ülke durumuna gelmesi veya gelebilmesi için hidrojen enerjisi büyük bir fırsattır. Hidrojen enerji teknolojisinin ülkemizde geliştirilmesi hemen her sektörde yeni iş olanakları meydana getirecektir. Hidrojen kaynakları çok zengin olan Türkiye, önümüzdeki yıllarda bilimsel, ekonomik ve politik değer kazanacaktır. Petrol bölgeleri önemini yitirirken, stratejik konumuyla hidrojen zengini olan ülkemizin adeta yıldızı parlayacaktır (Kükrer B.,2007).

Ülkemizin petrol, doğal gaz ve kömür vb. fosil yakıt kaynakları açısından yetersiz bir ülke olmasına rağmen, güneş, rüzgâr ve jeotermal gibi temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları açısından yüksek derecede zengin bir ülke olduğunu tüm dünya bilmektedir.

- Hidrojen ve Hidrojen enerjisinin Ülkemiz için tarihi ve kaçırılmaması gereken son derece büyük bir fırsattır.
- Hidrojen enerjisi ile dünya enerjisinin kalbi Türkiye’de atacaktır.

Türkiye’nin 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı Genel Enerji Özel İhtisas Komisyonu hidrojen teknolojisine kısaca değinmekle birlikte, Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu tarafından saptanan, 1993-2003 yılı ulusal bilim ve teknoloji politikasında;

- Hidrojen yakıt ve enerjisine yer verilmemiştir.
- Hidrojen konusunda üniversitelerimizin ve araştırma kuruluşlarımızda çok sınırlı bir biçimde ele alınmaktadır.

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi’nde hidrojen alanında uluslararası enerji ajansı programları kapsamında birtakım çalışmalar başlatılmak istenilmişse de, söz konusu işbirliği 1996 yılında sonlanmıştı (Kükrer B.,2007).

Günümüzde, Birleşmiş Milletler Endüstri Geliştirme Organizasyonu (UNIDO) desteği ile Uluslararası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi (ICHET) projesi kapsamında, İstanbul’da Hidrojen Enstitüsü kurulmuştur (Kükrer B.,2007).

20-22 Kasım 1996 tarihinde Viyana’da yapılan 16. UNIDO Endüstriyel Kalkınma Kurulu Toplantısı’nda UNIDO işbirliği ile ülkemizde ICHET kurulması kararı alınmıştır. Buna göre, UNIDO hukuksal çerçevede özerk olarak çalışmalarını sürdürmektedir (Kükrer B.,2007).

ICHET’in tasarlanan amacı, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında hidrojen teknolojileri köprüsünü oluşturmak, hidrojen teknolojilerinin geliştirilmesini ve uygulamalı AR-GE çalışmalarını yapmaktır. ICHET’in işlevleri kısa ve uzun dönemli eğitim vermek, bilimsel toplantılar düzenlemek, danışmanlık hizmetleri sunmak ve benzeri kuruluşlarla işbirliği oluşturmaktır. Merkezde çalışılan konular arasında (Kükrer B.,2007);

- Hidrojen enerjisi politikaları,
- Hidrojen ekonomisi,

- Enerji ve çevre,
- Hidrojen üretim teknolojileri,
- Hidrojen depolama teknikleri,
- Hidrojen uygulamaları bulunacaktır.

Türkiye, ilk 5 yıllık dönem için arazi, tesis, ilk yatırım ekipmanı ve işletme faaliyetlerini finanse etmek üzere 40 milyon dolar bağış yapmıştır. ICHET projesi ülkemizin hidrojen çağına tutarlı biçimde adım atmasını sağlamıştır. Türkiye'ye fayda ve üretim kazandıracak önemli bir girişimdir.

ICHET ilk hidrojen dolum tesisini İstanbul (Eyüp-Feshane)'da açmayı planlamaktadır. 2010 yılı sonuna kadar hizmete girecek olan istasyonda kullanılmak üzere otobüs ve otomobil siparişi verilmiştir (Kükrer B.,2007).

ICHET hidrojenle çalışan otobüslerle topluma ve tüm dünyaya örnek olmayı amaçlamaktadır. ICHET bugüne kadar 5 somut projeyi hayata geçirirken bunlardan en önemlisi Feshane hidrojen dolum tesisidir. Bu işletmelerde 350 bar basınca kadar hidrojen dolumu yapılması planlanmaktadır.

Ülkemiz, Avrupa'da Norveç, İzlanda ve Almanya'dan sonra hidrojen ve hidrojen enerji istasyonu açan ilk ülkelerden biri olması planlanmaktadır (Kükrer B.,2007 sy. 5). 2010 yılı içerisinde hizmete açılması planlanan bu dolum tesisi, hidrojen yakıtı ile çalışan belediye otobüsleri ve binek araçların yanı sıra İstanbul Haliç'te ve boğazda hidrojenle çalışan gemilere de hizmet vermesi planlanmaktadır (Kükrer B.,2007).

IDO hidrojenli gemiler konusundaki çalışmalarını sürdürülmektedir. Sempozyumun gerçekleştiği bugün 02/12/2011 tarihi itibarıyla Merkezle ilgili bürokratik engellerin kalkmaması, Prof. Dr. VEZİROĞLU' nun Amerika'dan dönüşü sonrası hem merkez açılmaması hem de birçok projenin aksayıp ilerlemesine sebep olmuştur (Kükrer B.,2007).

Türkiye'de hidrojen yakıtı üretiminde kullanılabilecek olası kaynaklar arasında hidrolik enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, deniz-dalga enerjisi, jeotermal enerji bulunmaktadır ve Türkiye gibi gelişme sürecinde ve teknolojik geçiş aşamasındaki ülkeler açısından, uzun dönemde fotovoltaik güneş-hidrojen enerji sistemi uygun görülmektedir. Ülkemiz'in hidrojen ve hidrojen enerjisi üretimi açısından avantajı ise uzun bir kıyı şeridi olan Karadeniz'in taban kısmında kimyasal şekilde depolanmış hidrojen bulunmasıdır. Karadeniz'in suyunun %90'ı anaerobiktir ve H₂S (hidrojen-sülfür) içermektedir (Kükrer B.,2007).

2.3.Hidrojen enerjisi ekonomisi

Karbon kullanmamaya yönelik eğilim, birçok enerji araştırmacısının, hidrojen gazının gelecekteki yakıt tercihi olabileceği iddiasını yansıtmaktadır. Bu araştırmacılar, enerji tesislerinin ve motorlu araçların, hidrojen enerjisi ile çalışacağına inanmaktadırlar. Ortaya çıkacak olan ekonomi modelleri, hidrojene ve hidrojen enerji sistemlerine dayalı olacak ve hidrojen ekonomileri olarak isimlendirilecektir.

Hidrojen ekonomisi yeni bir kavram değildir. Ulusal ekonomiyi sürüncemede bırakan önemli bir yakıt kaynağı olarak hidrojen gazının kullanımı, ilk olarak 20. yy.'ın ortalarında büyük çaplı nükleer elektrik üretme kapasitelerinin kabul görmesinde tamamlayıcı olarak kabul görmüştür. Küresel ısınmayla ilgili kaygılar ve sürdürülebilir kalkınmaya ulaşma isteği, hidrojenin yakıt olarak kullanımına ilişkin ilgiyi canlandırmıştır (Aslan Ö.,2007).

1974 yılında, hidrojen ekonomisinin geleceği üzerine yapılan ilk konferans olan Hidrojen Ekonomisi Miami Enerji Konferansı (THEME) esnasında, hidrojen enerji sisteminin zamanı gelmiş bir fikir olması üzerine görüş birliğine varılmış ve toplantı, hidrojen enerjisi üzerine resmi bir kuruluşa ihtiyaç olup olmadığı konusuna gelmiştir (Aslan Ö.,2007).

Yapılan tartışmalar sonucunda, 1974 yılının sonlarına doğru, “Uluslararası Hidrojen Enerjisi Kurumu” kurulmuş ve çalışmalarına başlamıştır (Aslan Ö.,2007). THEME konferansından önce, bir enerji kaynağı olarak hidrojen enerjisi üzerine fazla yoğunlaşılmamıştır. “Hidrojen enerjisi”, “hidrojen ekonomisi”, “hidrojen enerji sistemi” gibi kavramlar, enerji uzmanlarının büyük kısmı için hiçbir anlam ifade etmemektedir. Bugün ise bu kavramlar artık çok iyi bilinmekle kalmayarak kabul edilmiş duruma gelmiştir. Sadece bilim adamları ve mühendisler değil, geniş halk kitlelileri bile bu kavramlarla karşılaşmaktadırlar. Popüler basında, hidrojen ve hidrojen enerji sistemlerinin geleceğin yakıtı olması, çevremiz için sağlayacağı faydalar ve hidrojen gazı enerjisi teknolojilerinde yapılan çalışmalar hakkında çok daha fazla makaleleri ve kitapları göze çarpmaktadır (Aslan Ö.,2007).

Uluslararası Hidrojen Enerjisi Kurumu’nun ilk çalışmalarından birisi, Hidrojen Enerjisi topluluğu için bir platform sunması beklenen, Dünya Hidrojen Enerjisi Konferanslarını (WHEC) düzenlemek olmuştur. Dünyanın birçok ülkesinde yapılan, WHEC konferanslarının sonuncusu Fransa’nın Lyon kentinde 2006 yılında gerçekleştirilmiştir (Aslan Ö.,2007).

3.HİDROJEN ENERJİNİN GEREKSİNİMİ

Özellikler son zamanlarda fosil yakıtlarının kullanılmasıyla bunların dünyamız üzerindeki yıkıcı etkilerinin bir hayli arttığı ve bu şekilde devam ederse daha fazla artacağı bir gerçektir. Şöyle ki, küresel ısınma iklim değişiklikleri ve deniz seviyesi yükselmeleri en önemli etkileri olarak sayılabilir. Bu tür olumsuzluklar sadece belirli yerlerde yaşayan varlıkları değil tüm dünyayı etkilemektedir (Şenaktaş B.,2005).

Dünyadaki nüfusun artıyor olması, teknolojinin çok hızlı gelişmesi, enerji taleplerinin giderek artması ve böylece fosil kökenli doğal kaynakların azalma göstermesi: Dünyanın enerji talebindeki çok hızlı artış sebebiyle, fosil kökenli birçok yakıtın başlıca enerji kaynağı olmaya devam etmesi ne yazık ki imkansızdır (Şenaktaş B.,2005).

20. Yüzyılın son üç çeyreğinde genel enerji kullanımında fosil kökenli yakıtların payı %80-90’lık ağırlığını korumuş, değişen sadece fosil kökenli yakıtların kendi içindeki dağılımları olmuştur. 1925 yılında fosil yakıt kullanımının %80’i kömürden sağlanırken, geçen milenyum sonlarında fosil yakıt kullanımının %45’i petrol, %25’i doğal gaz ve %30’u kömürden sağlanmıştır.

Nüfusun çok fazla artış göstermesi ile beraber bu yakıtlara bağımlı olarak teknoloji de hızla gelişme göstermiştir. Nüfusun çok fazla artıyor olması ve teknolojinin çok hızlı gelişmesi sonucunda, fosil kökenli yakıt veya yakıtlar insanların ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalacaktır. Çünkü petrol rezervlerine 40 yıl, doğal gaz rezervlerine 60 yıl ve kömür rezervlerine ise 250 yıldan daha fazla ömür ne yazık ki biçilememektedir. Bu yakıtların üretimi 2010-2020 yılları arasında azalacak ve üretim maliyetleri de artacaktır. O halde yenilebilir enerji kaynaklarının acilen kullanıma sunulması ve bu kaynaklara bağlı uygun teknolojilerin değiştirilmesi gerekmektedir (Şenaktaş B.,2005).

3.1.Hidrojen enerjisinin temel avantajları

Hidrojen gazı aşağıdaki sıralandığı gibi çeşitli temel avantajlara sahip olan bir enerji taşıyıcısı ve kaynağıdır (Şenaktaş B.,2005);

- Hidrojen gazı yenilenebilir diğer enerji kaynakları da dahil edilmek üzere herhangi bir enerji kaynağı kullanılarak üretilmektedir.
- Hidrojen ve hidrojen enerjisi elektrik kullanılarak üretilen ve nispeten yüksek bir verimle de elektriğe çevrilebilmektedir. Hidrojenin güneş enerjisiyle doğrudan üretim mekanizmaları da geliştirilmiştir.
- Fosil yakıtlar son kullanım aşamasında sadece bir aşamayla dönüştürülürken, hidrojen ve hidrojen enerjisi kullanılacak yakıt tipine beş farklı aşama ile dönüştürülebilmektedir.
- Son kullanım aşamasında hidrojen kullanılacak enerji şekline dönüştürülürken en yüksek verime sahiptir. Hidrojen fosil yakıtlara göre %39 daha fazla verimlidir. Kısacası hidrojen birincil enerji kaynaklarını korumaktadır.
- Hidrojeni gaz şeklinde (büyük çaplı depolamada), sıvı şeklinde (hava, kara ve uzay ulaşımında) veya metal hibrit şeklinde (araçlar ve diğer küçük çaplı depolamalarda) depolanabilir (Şenaktaş B.,2005).
- Hidrojen boru hatları yardımıyla veya tankerler yardımıyla uzak mesafelere taşınabilir (birçok durumda elektriğe göre daha ekonomik ve daha verimlidir).
- Hidrojen diğer yakıtlarına göre daha farklı güvenlik ekipmanları ve prosedürleri gerektiriyor olsa da onlarla karşılaştırıldığında daha fazla tehlikeli değildir. Hidrojen ve hidrojen gazı güvenlik sıralamasında ise propan ve metanın'ın (doğal gaz) arasındadır. Yangın tehlikesini ve zehirlilik derecesi dikkate alınacak olursa hidrojen en güvenilir yakıt arasındadır (Şenaktaş B.,2005).
- Hidrojen elektrik enerjisinden veya güneş enerjisinden üretiliyorken, taşınyorken veya depolanıyorken kullanım aşamasında herhangi bir kirlenici madde üretmez veya çevreye zararlı herhangi bir etkisi yoktur. Hidrojenin yanması veya yakıt kısmında tüketimi sonucu son ürün olarak sadece su üretir. Yanma işlemi yüksek derecedeki sıcaklıkta olursa havadaki azot ve oksijenden NOx oluşumu görülebilir. Ancak bu sorunda diğer yakıtlar ile aynıdır ve kontrol altına alınabilir.
- Çevresel zararlar ve yüksek seviyede kullanma verimi dikkate alınacak olursa solar hidrojen enerji sistemleri en düşük etkin maliyete sahip olduğu anlaşılabacaktır (Şenaktaş B.,2005).

3.2.Hidrojen enerjisinin temel dezavantajları

- Doğamızda son derece bol bol bulunmasına rağmen enerji üretimi için kullanılan hidrojen gazının son derece saf olması gerekmektedir. Saflaştırma işlemi maliyetini arttıran en önemli süreçlerden birisidir. Bu sebeple saf hidrojen üretiminde ortaya çıkan maliyet petrol ve doğalgaza göre ortalama 4 kat daha yüksektir. İlave olarak, hidrojen gazı ile çalıştırılan yakıt hücreleri içten yanmalı motorlara göre 10 kat daha pahalıdır (Şenaktaş B.,2005).
- Hidrojen gazı ve hidrojen enerjisinden yararlanılırken uygulama esnasında birtakım engellerle karşılaşmaktadır. Örneklendirmek gerekirse enerjinin üretildiği yakıt hücreleri ile hidrojen enerjisinin depolanmasında kullanılan tankların hacmi büyük yer kaplamaktadır. Hidrojen gazı petrol ile kıyaslandığında 4 kat daha fazla hacim kaplamakta; hidrojen gazının kapladığı

hacmi küçültmek içinde hidrojeni sıvı halde depolayarak saklamak gerekmektedir. Bu işlem içinde yüksek basınç uygulayarak soğutma işlemi yapılması gerekmektedir (Şenaktaş B.,2005).

- Diğer taraftan bu iki sorunla yakından alakalı başka temel bir problem ise yakıt hücresi ile çalışan araçlar yakıt takviyesi yapmak istedikleri zaman ortaya çıkacaktır. Petrol istasyonlarında yakıt hücreleri için hidrojen gazı, yani yakıt malzemesi bulmak bir sorun yaratabilir; ya da bu tip enerji kaynaklarına yatırım yapmanın maliyeti göz önüne alındığında yatırımcı tarafından müşteri bulamama yani ölü yatırım yapma gibi riskleri ortaya çıkmaktadır. Bu gibi sorunların çözümü ise belirli bir ekonomik maliyet ve belirli bir zaman gerektirmektedir.
- Petrol(benzin) ile çalışmakta olan motorlar içten yanmalı motorlar sınıfına girmektedir. Bu tarz motorların yakıt hücresi ile çalıştırılmalarında çeşitli engeller bulunmaktadır. Dolayısıyla yakıt hücresi ile uyumlu çalışacak motorların geliştirilmesi zorunluluğu bulunmaktadır (Şenaktaş B.,2005).

4.HİDROJEN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Hidrojen gazı doğal bir yakıt türü olmayıp, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak farklı hammaddelerden üretilen ve kullanıma sunulan sentetik bir yakıt tipidir. Hidrojen üretimi sırasında bütün enerji kaynakları kullanılabilen ve üretime dahil edilebilmektedir. Üretim esnasında kullanılan hammaddeler ise H_2O (su), fosil yakıtların bir çoğu ve biomas materyalidir. Günümüz dünyasında teknolojik gereksinimlerle yılda 500-600x10⁹ m³ hidrojen fosil yakıtlardan üretilerek kullanılmaktadır (Şenaktaş B.,2005).

Yakıt olarak üretilen hidrojen gazının temelinde, sudan yenilenebilir enerjilerle üretilmesi ana ilke olmaktadır. Hidrojen ve hidrojen gazı üretim yöntemlerinin başında suyun direkt elektrolizi gelmektedir. Elektroliz için elektrik ihtiyacı fosil yakıtlardan, hidroelektrik kaynaklardan, nükleer güçten, jeotermal enerjiden, güneş, rüzgar ve deniz ile dalga enerjilerinden elde edilebilmektedir. Gelecek için üzerinde en çok yoğunlaşılan yöntem fotovoltaiik güneş enerjisi üreteçleri kullanımı sağlanmasıdır.

Hidrojen, suyun ısı parçalama işlemi (termal krekini) ile de üretilen ve kullanımı sağlanabilmektedir. Bir diğer hidrojen ve hidrojen gazı üretimi yöntemi ise doğal gazın ve gaz hidrokarbonlar ile buhar reformasyonu sağlanmasıdır (Şenaktaş B.,2005).

Hidrojen üretimi için ayrıca kömür gazifikasyon yöntemi de bulunmaktadır. Gazifikasyon işlemi kolaylıkla kökürdün elimine edilmesine olanak tanıdığından çekici bulunmaktadır. Ortalaması düşünülürse 6 kilogram kömürden 3.785 lt, 1 kg benzine eşdeğer 1 kg hidrojen gazı elde edilir.

Dünyadaki en zengin fosil yakıtı kömürdür. Bilim insanları kömür yataklarına biçilen güvenilir ömür süresi 200 yıl kadar olsada, bunun 400 yıla kadar uzayabileceği söylenmektedir. Katı atıklar ve kanalizasyon materyalleri de hidrojen gazı üretimi için hammadde olmakta, gazifikasyon işlemine bağımlı olarak, sentez gazının hava veya oksijenle reformasyonu hidrojen gazını vermektedir. Termokimyasal çevrimlerle sudan, fotokimyasal işlemle organometalik bileşikler veya enzim su karışımından hidrojen üretilir (Şenaktaş B.,2005).

Hidrojen ve hidrojen gazı üretimi için sıralanan teknikler dışında; foto elektro kimyasal, biyolojik ve biyokimyasal gibi farklı tekniklerde bulunmaktadır. Biyolojik üretimde, mikro alga eler ve

cyanobakterialar ile biofoto reaktörlerden foto biyolojik yöntemlerle hidrojen gazı elde edilebilmektedir (Şenaktaş B.,2005). Ayrıca, denizlerde direkt güneş enerjisi çevrimi ile hidrojen üretimi, uzay güneş güç istasyonlarının enerjisiyle hidrojen üretimi gibi yöntemler üzerinde çalışılmaktadır (Şenaktaş B.,2005).

4.1.Hidrojenden enerji elde edilmesi

Hidrojenden ve Hidrojen gazından aşağıdaki yöntemler ile enerji elde edilmektedir:

- Yakma: Hidrojen gazı benzin ve doğal gaz gibi yanabilmektedir. Benzinden ve Doğalgazdan ayrıcalığı ise emisyonlarının az olmasıdır. Karbondioksit gazı çıkarmamaktadır. Sadece benzine ve doğalgaza göre çok düşük seviyede NOx çıkar. Askeriye ve endüstriyel kullanımlar için hidrojen gazı türbinleri ve otomobiller içinde içten yanmalı hücrelere sahip motorlar geliştirilmektedir.
- Yakıt pili: Yakıt pili ise elektroliz'in tam tersidir. Hidrojen ile havadaki oksijen gazının birleştirilmesiyle elektrik akımı elde edilmektedir. Özellikle otomobiller başta olmak üzere bütün uygulamalarda tercih edilen hassas bir yöntemdir. Hidrojen gazını yakmaya göre daha verimlidir.Çevreye zararlı hiç bir emisyonu bulunmamaktadır. Çeşitlilik anlamında yakıt pili tipleri vardır. Bunlar anod ile katod arasındaki elektrolit malzemelere göre farklılık göstermektedir (İder S., metalurji.org.tr, 16.11.2024).

5.HİDROJEN ENERJİ SİSTEMLERİ

Hidrojen enerji sistemleri aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır (İder S., metalurji.org.tr, 16.11.2024);

1. Hidrojenin üretimi
2. Depolanması ile iletimi
3. Enerjiye çevrimi

5.1.Hidrojen üretimi

Hidrojen enerjisi konusunda özellikle son ortaya çıkmakta olan gelişmeler, 2010 yılından itibaren hızlanarak ilerleyen bir süreç içinde hidrojenin ve hidrojen gazının özellikle ulaşım sektöründe diğer yakıtların yerini alacağı bir geleceği işaret etmektedir. Bu vizyonda hidrojenin çeşitli imalat yerlerinden kullanım yerlerine ulaştırılması için gereken dağıtımın altyapısı ile hidrojen istasyonları da yer almaktadır (İder S., metalurji.org.tr, 16.11.2024).

5.1.1.Hidrojen üretim kaynakları

Hidrojen gazı enerjisi doğal bir yakıt olmamakla beraber, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak su, fosil yakıt çeşitleri ve biokütle gibi değişik hammaddeler kullanılarak üretilen sentetik bir yakıt çeşididir. Üretilmesi esnasında; buhar iyileştirme, atık gazların içeriğinin saflaştırılması, elektroliz, foto süreçler, termokimyasal süreçler, radyoliz gibi alternatif birçok hidrojen gazı üretimi teknolojileri bulunmaktadır (Kılınç N.,2008).

Hidrojen gazı ve hidrojen enerjisi, birincil enerji kaynakları -ki bunların içerisinde kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtların bir çoğu ile güneş, rüzgâr, jeotermal, dalga ve hidrolik (su) gibi yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır- yardımıyla elde edilebilmektedir. Fosil yakıtlar içerisinde özellikle doğal gazda bol miktarda hidrojen enerjisi bulunmaktadır ve bu yakıtlardan buhar reformasyonu tekniği ile doğrudan hidrojen elde edilebilmektedir (Kılınç N., 2008). Ancak su, hava, kömür ve doğalgaz gibi doğal kaynaklardan üretilen hidrojen gazı enerjisi, petrol, kömür ve doğal gaz

enerjilerinin sınırlı olmalarından dolayı ve karbon gazı içermeleri sebebiyle hidrojen gazı üretimi için tercih edilmiyor olmasına rağmen, doğru seçenek olan su maddesinden hidrojen üretiminin çok yüksek maliyetli olmasından dolayı günümüzde genellikle fosil tabanlı yakıtlardan hidrojen gazı üretimi gerçekleştirilmektedir (Kılınç N., 2008). Geleneksel olarak hidrokarbonlardan ve sudan üretilen hidrojen (I. Ulusal Hidrojen Kongresi, 2002) çok farklı işlemlerde -petrokimya sanayinde, amonyak ve diğer kimyasalların üretiminde ve metalürjide- kullanılmaktadır. 2004 yılında dünyamızda üretimi gerçekleştirilen hidrojen gazı miktarı 50 milyon tondur. Bu miktardaki hidrojen ile yaklaşık 6,5 EJ (Enerji Joule) enerji üretmek mümkündür. Bu rakam ise dünya enerji tüketiminin %1,5'una tekabül etmektedir. Ayrıca üretilen bu hidrojen gazının yaklaşık % 99'u fosil yakıtların (birinci olarak doğal gazdan) kimyasal üretim sayesinde ve geriye kalan kısmı ise yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrojen gazı üretimi bugünkü teknolojilerle oldukça pahalıdır ve ucuzlaması yeni teknolojik gelişmelere bağlıdır (Kılınç N., 2008).

Hidrojen rafineriler ve petrokimya endüstrileri başta olmak üzere dünyanın bir çok farklı yerinde üretilmektedir. Üretimi yapılan bu hidrojen gazının yaklaşık 7 bin tonu Shell tarafından gerçekleştirilmektedir (Kılınç N.,2008, sy.34). Geri kalan hidrojen miktarı ise başta ileri düzeyde otomobil yakıtları olmak üzere ürün imal etmek için üretildiği yerde kullanılmaktadır (Kılınç N., 2008). Hidrojen gazı enerjisi bir çok farklı yöntem kullanılarak doğrudan veya dolaylı olarak elde edilebilmektedir (Kılınç N.,2008).

Bu yöntemlerin başlıcaları aşağıda açıklanmaktadır (Kılınç N., 2008):

5.1.1.1.Su

Ticari anlamda su maddesinden hidrojen üretimi, geleneksel yöntemler kullanılarak üretilen elektrik (hidroelektrik, termik veya nükleer santrallerde) kullanılarak suyun elektrolizi sonucu gerçekleşmektedir. Hidrojenin 'temiz' yöntemlerle üretilmesi, elektriğin yenilenebilir enerji kaynakları (hidro-güç, güneş, rüzgâr gibi) ile elde edilmesine bağlıdır. Su maddesinin güneş enerjisi ile ayrıştırılması sonucu elde edilen hidrojen enerjisi üretimi başlıca iki grupta toplanmaktadır. Termokimyasal süreçler ile fotokimyasal süreçlerdir ve bu gruplama ise güneş enerjisinin kullanılış biçimi ile ilgilidir.

5.1.1.2.Fosil yakıtlar

Uzun zamandır dünyada kullanılan hidrojen ve hidrojen gazının neredeyse tamamına yakını fosil yakıtların kullanımı ile üretimi sağlanmaktadır. Fakat daha modern ve daha gelişmiş bir yöntem olarak kabul edilen elektrik enerjisi, fosil yakıtların bir süre sonra tükenecek olmasından dolayı hızla gelişen ve geliştirilen bir alternatiftir. Hidrojen gazı fosil yakıtlardan buhar reformasyonu yöntemi kullanılarak elde edilebilmektedir. 800- 900 °C sıcaklık ve 2,5 MPa (megapaskal) basınç altında gerçekleştirilen süreçlerin sonucunda saf hidrojen gazı oluşmaktadır ve bu yöntem esnasında kullanılan hafif hidrokarbon genellikle doğalgazdır. Ağır hidrokarbonların dönüşümü yapılarakta hidrojen gazı elde edilebilmektedir. Oksijen ile su buharı, enerji ihtiyacı duyulmaksızın kontrol edilebilmekte ve bu yöntem günümüzde birçok üretim işletmesinde kullanılmaktadır. Doğalgaz ile üretim yöntemi ise henüz deneme aşamasında olan bir yöntemdir. Buradan elde edilen ürünlerin kullanılabilirliği göz önüne alınacak olursa son derece verimli bir yöntem olduğu anlaşılmaktadır (Kılınç N., 2008).

5.1.1.3. Biokütle

Hidrojen, biokütle 'den gazın sıvı bir hale getirilmesi ile elde edilebilmektedir. Biokütlenin hazırlanma safhasında reaktör basıncı altında yüksek sıcaklıkta bulunan su, kaynatılarak hidrojeni ayrıştırmakta ve bu uygulanan sistem biokütleyi kısmen oksitlendirmektedir. Gaz üretilirken; hidrojen, metan, CO₂, CO ve Nitrojen' den oluşmaktadır. Gaz akımı yüksek sıcaklıktaki reaktörü hidrojen içeriğinin arttığı yere doğru kaydırır ve kademeli olarak yüksek derece saflıktaki hidrojen adsorbsiyon birimindeki basınç sonrası üretilmektedir (Kılınç N., 2008).

Yenilenebilen enerji kaynaklarına olan ilgi ve ihtiyaç arttıkça, biokütle enerjisine olan ilgi de her geçen gün daha fazla artmaktadır. Biokütle ile enerji üretimi hususunda muhtemel yaklaşımlardan biriside biokütleyi hidrojen gazı içeren çeşitli biyogazlara ve sentetik gazlara dönüştürmektir. Hatta bir çeşit su yosunu olan yeşil algleri kullanarak biyokimyasal yöntemlerle hidrojen ve hidrojen gazı üretimi hususunda da çeşitli çalışmalar sürdürülmektedir. Biokütlenin sıvı hale getirilmesi yöntemi ile elde edilen yakıt türünün yakılması veya doğrudan kütlenin kendisinin yakılması ile elde edilen ısıdan başka, biokütle fermantasyon ya da gazlaştırma işlemlerine tabi tutularak metan veya hidrojen gazı üretiminde kullanılmaktadır.

Güneş, rüzgar ve hidroelektrik gibi kendini yenileyebilen enerji üretim teknolojilerine kıyasla biokütlenin avantajı, kontrol edilebilirliğinin yüksek olmasıdır çünkü kaynak maddesi değişken değildir. Ayrıca hiçbir ara işleme gerek duyulmadan biyogazdan direkt olarak hidrojen üretilmektedir (Kılınç N., 2008).

5.2. Elektroliz ile hidrojen üretimi

Su maddeleri ayırtma yöntemi olarak da bilinen elektroliz yöntemiyle iki elektrot arasından elektrik enerjisi akımının geçirilmesi ile su, hidrojen, hidrojen gazı ve oksijene dağıtımı sağlanmaktadır. Ticari anlamda düşük sıcaklıktaki elektroliz sistemleri %56 ile %73'lük bir dilim arasında verimlilik derecelerine sahiptirler. En yaygın kullanılan elektroliz yöntemi alkaline elektroliz hücreleri (AECs), fakat proton değişim membranlı (PEM) elektroliz ve katı oksit elektroliz hücreleri (SOEC) de geliştiriliyor. En fazla kullanılan hidrojen gazı üretim yöntemi olarak kabul edilen buhar reformasyonu 700°C ile 1100°C arasında bir sıcaklık ihtiyacı duyulurken, suyun elektrolizi 50°C ve 80°C'lik bir dilim aralığında gerçekleştirilebilir. Bu iki yöntem arasındaki en temel detay birincil enerji kullanımı olarak kabul edilmektedir.

Elektroliz için birincil enerji kaynağı elektrik iken, buhar reformasyonu içinde doğalgazdır. Elektrolizin maliyetinin düşmesi ve yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektriğin elektrolizde kullanılması hidrojen üretimi için önemli bir hedeftir (Çiçek F.,2019, <https://cyberleninka.ru/>).

Hidrojen ve Hidrojen Enerjisi üretim teknolojileri şöyle sıralanabilir (İder S.,Odtü, metalurji.org.tr 16.11.2024):

1. Fosil yakıtlardan olan Kömür, Doğalgaz ve Benzin 'den termokimyasal yöntemlerle hidrojen elde edilebilmesi. Buharlı reaksiyon yöntemi ise en çok tercih edilen yöntemdir. Burada fosil yakıt bir nikel esaslı katalizör aracılığı ile buharla reaksiyona girmekte ve hidrojen açığı ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca biomas'dan pirolize yöntemi ile elde edilen bio-yag'dan da benzer şekilde buharla reaksiyon ile hidrojen elde edilir.
2. Suyun elektrolizi ile hidrojen elde edilebilmesi. Elektrik enerjisi kullanılarak Su hidrojen ve oksijene ayrıştırılır.

3. Fotoelektrokimyasal yöntemle güneş enerjisinden hidrojen gazı elde etme. Elektroliz yönteminin bir çeşididir. Elektrik akımı su içerisine batırılmış güneş pillerinden elde edilir. Normal elektroliz yöntemine göre daha verimlidir.
4. Foto biyolojik yöntemle yeşil yosunlardan doğal fotosentez faaliyetlerinden faydalanarak hidrojen elde etme.
5. Çeşitli hibrit bileşiklerinden kimyasal yöntemlerle hidrojen elde etme. Bunların arasında en önemli olanı ise sodyum borohidrit'tir.

Hidrojen ve hidrojen gazı günümüzde en az maliyetli olarak fosil yakıtlardan buharla reaksiyon yöntemi ile elde edilebilmektedir. Fakat bu yöntemde fosil kaynaklara olan bağımlılığı ne yazık ki azaltmamakta ve aynı zamanda doğada hava kirliliğine sebep olmaktadır. Diğer en çok kullanılan yöntem elektrolizle suyun ayrıştırılması yöntemidir. Elektroliz yönteminin ve diğer yöntemlerin verimlerinin artırılması ve üretim maliyetlerinin azaltılması için yoğun araştırmalar yapılmaktadır.

5.2.1. Hidrojenin depolanması ve iletimi

Hidrojen, gaz haliyle, sıvı haliyle veya kimyasal bir bileşim içinde depolanabilmektedir. Daha fazla gaz halinde olan şekliyle saklanması tercih edilmektedir. Fakat düşük yoğunluklu olmasından dolayı çok fazla yer kaplamaktadır. Bu sorunda önüne geçmek amaçlı basınçlı tanklarda ve basınçlı tüplerde sıkıştırılmış bir şekilde saklanmaktadır. Tank için kullanılan malzemeler hafifliği ve güvenliği açılarından değerlendirilip geliştirilmektedir. Sıvı hidrojen daha az yer kaplar. Fakat hidrojenin sıvılaştırılabilmesi içinde çok yüksek enerji (sıvılaştırılan hidrojenin enerji değerinin 1/3'ü kadar) gerekmektedir (İder S., ODTÜ, metalurji.org.tr 16.11.2024). Katı şekilde hidrojen depolaması için metal hibritler tercih edilmektedir. Hidrojen gazı metal hibrit tarafından sünger gibi emilimi sağlanarak gözenekleri içinde depolanmaktadır. Ancak metal hibritlerde kütlece çok ağırdır. Malzeme olarak on kat daha hafif olan karbon nanoyapıları geliştirilmektedir (İder S., ODTÜ, metalurji.org.tr 16.11.2024).

5.2.2.1.1. Hidrojenin Depolanması

Hidrojenin iletimi güvenilir ve düşük maliyetlidir. Hidrojenin dağıtım ağı kısa bir sürede kurumayan bir yapıdır. Gaz üretimi tesisleri endüstriyel kullanıcılar için sıklıkla tankerlerle taşınma yolunu ile hidrojenin iletilmesini sağlamaktadırlar. Hidrojene olan talep arttıkça endüstriyel kullanıcılar hidrojenin depolanmasını ve iletimi için boru hattı yapımında ileri teknolojiler geliştirerek hidrojenin iletimi ve taşınmasındaki artan üretimi ancak karşılayabileceklerdir (Kükre B.,2007).

Hidrojen, gaz haliyle, sıvı haliyle veya kimyasal bir bileşik içinde depolanabilmektedir. En fazla gaz halinde saklamak tercih edilmektedir. Fakat düşük yoğunluklu olması sebebiyle çok fazla yer kaplamaktadır. Bunun için basınçlı tanklarda ve basınçlı tüplerde sıkıştırılmış bir şekilde saklanmaktadır. Tank malzemeleri güvenlik açılarından geliştirilmektedir (Kükre B.,2007).

Sıvı hidrojen daha az yer kaplamaktadır. Fakat hidrojenin sıvılaştırılması için çok yüksek derecede enerji (sıvılaştırılan hidrojenin enerji değerinin 1/3'ü kadar) gerekmektedir.

Katı bir şekilde hidrojen depolanabilmesi için metal hibritler kullanılmaktadır. Hidrojen gazı metal hibrit tarafından sünger gibi emilimi sağlanarak gözenekleri içinde depolanır. Ancak metal hibritler çok ağırdır. Malzeme olarak on kat daha hafif karbon nanoyapıları geliştirilmektedir.

Hidrojen depolamada amaçlanan başlıca özellikler bulunmaktadır. Bu özellikler;

1. Olabildiğince yüksek geri dönüşüme sahip depolama kapasitesi,
2. Olabildiğince düşük seviyede geri bırakım sıcaklığı,
3. Zehirlenmelere karşı direncine bağlı olarak olabildiğince yüksek sayıda tekrarlanabilir dolum sayısı.

Depolama çeşitleri şunlardır;

1. Tanklarda depolama
2. Nanotüplerde depolama
3. Metal hidrürlerde depolama
4. Alatanlarda depolama
5. Bor esaslı depolama

Hidrojenin kullanılabilmesi için büyük ölçekli, güvenli olan ve pratik depolama yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Hidrojen sıvı olarak depolanmasına rağmen -253C sıcaklığa kadar soğutulması gerekmektedir ve bu işlem bir hayli zordur. Soğutma işlemi, hidrojenin depolandığı enerjinin %25-%30'u kadar enerjiye mal olur.ve bunun yanında sıvılaştırılmış hidrojenin depolanması özel yöntemleri ve özel malzemeleri gerektirir (KükreB.,2007).

Hidrojen gaz halinde de depolanabilmektedir. Bu yöntem sıvı hidrojenin depolanmasından daha düşük enerji gerektirmektedir. Büyük ölçekli kullanım için sıkıştırılmış hidrojen gazı mağaralarda, gaz sahalarında ve madenlerde depolanarak doğal gaz gibi kullanım hattı boruları ile iletilir. Bu yöntem ısıtma için uygun olsa da taşıma için ne yazık ki uygun değildir (KükreB.,2007).

Depolama için diğer bir yöntem hidrojenin hibritler içinde depolanmasıdır. Hibrit hidrojenin diğer maddelerle yaptığı bileşkelere verilen addır. Magnezyum-nikel, Magnezyum bakır ve demir-titanyum gibi bazı metal alaşımları hidrojen soğutulup ısıtıldıklarında yeniden açığa çıkarmaktadır (Kükre B.,2007). Yüksek enerji yoğunluğunda önemli miktarda hidrojen taşıyabilen, hidrojeni bir yakıt olarak serbest bırakabilen, hızlı tepki gösterebilen ve uygun maliyetli bir bileşiğin gelişmesi için çalışmalar yapılmaktadır (Kükre B.,2007).

5.2.2.1.2.Hidrojenin iletimi

Hidrojen gazı, doğal gaz veya hava gazına benzer şekilde borular yardımıyla her yere kolay ve güvenli bir şekilde taşınabilmektedir. Hidrojenin boru ile taşınmasına, Texas'ta petrol sanayisi tarafından kullanılmakta olan ve 80 kilometre gibi bir uzunluğa sahip boru hattı şebekesi ile Almanya'da Ruhr havzasında ilk olarak 1938 yılında işletmeye açılan ve günümüzde 15 atmosfer basınç altında hidrojen taşınması devam eden 204 km'lik boru hattı örnek olarak gösterilebilir (KükreB.,2007).

Basınçlı hidrojenin, çelik tüpler içine yerleştirilerek taşınması, günümüze kadar geliştiren birçok deneme amaçlı hidrojenle çalışan taşıtlarda kullanılan yöntem olmuştur. Burada görülen en büyük sorun çelik tüplerin kendi ağırlıklarıdır. Benzinli bir otomobil ortalama olarak 65 litre (47kg) benzin almakta olup, bu da enerji olarak ortalama 17 kilogram hidrojene karşılık gelmektedir. Hidrojenin sıvı olarak depolanması ağırlık sorununu çözmekle birlikte, tank hacmini ve maliyeti artırmaktadır. Diğer bir sorun ise, hidrojenin gaz haline getirilmesi ile oluşan kayıplar ve yakıt ikmali zorluğudur (KükreB.,2007).

6. SONUÇ

Hidrojen enerji sistemleri adlı çalışmamda; Hidrojen 'in elde edilmesi safhalarından başlanarak, üretilmesi, işlenmesi, taşınması ve son kullanıcıya ulaştırılması aşamalarına kadar tüm noktalarına değinmenin yanı sıra dünyamız ve özellikle ülkemiz açısından değerlendirmelerde bulunulmuş olup gelecekte tercih edilmesinin sebeplerinden sonuçlarına , fosil yakıt kullanımının çok fazla olduğu ve maliyetinin de yüksek olduğu günümüz dünyasında hidrojen gazının-hidrojen enerjisinin ne kadar avantajlı ve düşük maliyetli olduğu hususuna değinilmiştir.

Hidrojen enerji sistemlerinin ülkemiz açısından değerine ve önemine vurgu yapılarak doğru bir şekilde değerlendirilmesi sağlınırsa ülkemizi bulunduğu noktadan çok farklı yerlere taşıyabilecek potansiyele sahip olduğu anlaşılmaktadır. Tüm bunların yanı sıra hidrojenin ve hidrojen gazının çok avantajlı ve çevre dostu anlatılmak istenilmiştir.

Hidrojenin her ne kadar çevre dostu ve diğer yakıt türleri ile kıyaslama yapıldığında avantajlı olduğu hesaplamalarda açık bir şekilde belirtilmiş olsa da ülkemiz hidrojen, hidrojen gazı ve hidrojen enerji sistemleri üzerine ciddi bir çalışma yaparak farklı ülkelerin yapmış olduğu çalışmalardan daha iyi bir çalışma ortaya koyarak tüm dünyada hidrojen denildiği anda ülkemizin ilk sıralarda yer alması için gayret etmesi geleceğimiz için önemli bir zemin hazırlayacak ve başta ekonomik anlamda olmak üzere bir çok alanda daha kolay gelişim sağlama imkanı tanıyacaktır.

Tüm bunların yanı sıra sanayileşmekten ziyade çevre dostu, doğaya en az zarar veren bir enerji sisteminin geliştirilmesi diğer ülkelerin de dikkatini çekecek ve birçok yabancı yatırımcıyı ülkemize çekecektir.

Stratejik konum düşünüldüğünde ülkemiz dünya nazarında çok önemli bir konumdadır ve bugün birçok petrol hattı, doğalgaz hattı ülkemiz üzerinden farklı ülkelere gitmektedir. Hidrojen enerji sistemleri geliştirildiğinde alıcı bulmak ta güçlük çekilmeyeceği apaçık ortadadır. Tüm bu sebeplerden dolayı bu fırsatı değerlendirmeyi başarabilirsek eğer hem ülkemiz hem de dünyamıza ufakta olsa bir katkı sağlamış olacağız.

KAYNAKÇA

Akçi H. (2022) [https://tez.yok.gov.tr/Güneş Esaslı Hidrojen Enerji Sistemlerinin Ekserjiye Dönüştürülmesi](https://tez.yok.gov.tr/Güneş_Esaslı_Hidrojen_Enerji_Sistemlerinin_Ekserjiye_Dönüştürülmesi)

Aslan Ö.,(2007)https://arastirmax.com/en/system/files/dergiler/1402/makaleler/6/11/arastirmx_1402_6_pp_283-298.pdf(Sy.,4-5)

Çiçek F.,(2019),<https://cyberleninka.ru/article/n/hidrojen-gazinin-retim-y-ntemleri-ve-enerji-kayna-i-olarak-avantaj-ve-dezavantajlari/viewer>

Eif.(2024) <https://www.eif2050.com/tr/blog/hidrojen-enerjisi-nedir> Hidrojen Enerjisi Nedir.? Dayalı Analizleri Ve Değerlendirmeleri(Sayfa 5-28)

İder S. (2024 , Odtü) https://www.metalurji.org.tr/Dergi/Dergi134/D134_101105.pdf Hidrojen Enerji Sistemi

İder S.,(2024,Odtü)https://www.metalurji.org.tr/Dergi/Dergi134/D134_101105.pdf

Kılınç N.,(2008)<https://tez.yok.gov.tr/Ulusaltezmerkezi/Tezsorgusonucyeni.jsp>

Kükreler, B., 2007. Hidrojen Enerjisinin Gelişme Potansiyeli Ve Türkiye Ekonomisi Açısından Değerlendirilmesi,

Şenaktaş B.(2005)<https://Tez.Yok.Gov.Tr/Hidrojen> Enerjisi Üretimi Ve Uygulamaları,(Sy,32- 33)

Şenaktaş B.(2005)<https://Tez.Yok.Gov.Tr/Hidrojen> Hidrojen Enerjisinin Temel Avantajları(Sy,31)

Şenaktaş B.,(2005)) <https://Tez.Yok.Gov.Tr/Hidrojen> Enerjisinin Üretim Yöntemleri(Sy,44)
<https://Gcris.Pau.Edu.Tr/Bitstream/11499/1181/1/Bu%C4%9fra%20%C5%9eenakta%C5%9f.Pdf>

Şenaktaş B.,(2005) <https://Tez.Yok.Gov.Tr/Hidrojen> Enerjisinin Temel Dezavantajları(sy,33)

TRANSİST(2011,BİLDİRİ)https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/85819147/Transist2011Bildirilibre.pdf?1652208030=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DKarayolu_Olarak_Dusuk_Kapasite_Ile_Isley.pdf&Expires=1731865593&Signature=MWYta9maFcuF1HSPRV0ICx39YqsXk97wvqeUAP9QZ30~w~velTgWqy9A1GqSpd1n9NetuFkCDneN51yEmTiXZiQTCs0iAmug3vmLI-KLwkvE1K8Qn90OARxK31cRJoclTre9dt-6xrpEx2C6IKL0UhZVWUfwXi8IkEhwnEZLQsgKk3PC~I9u6zMuqDagZfn622D-YZgFqAvxvp~Hqu4R0WwxoBsrrk8UDy7RUFvT4zqVHf~PVDmV-tKpoLf8Gpm6jljXURljkjTSdh92x9mMB2f0B0O5Au3lYJGzO7IO1GGegV10KCRw94GYRXMydaM8Hk7qhF5wnIPJFJ~lohg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA#page=27(sy,29-32)

Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/85819147/Transist2011Bildirilibre.pdf?1652208030=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DKarayolu_Olarak_Dusuk_Kapasite_Ile_Isley.pdf&Expires=1731865593&Signature=MWYta9maFcuF1HSPRV0ICx39YqsXk97wvqeUAP9QZ30~w~velTgWqy9A1GqSpd1n9NetuFkCDneN51yEmTiXZiXZiQTCs0iAmug3vmLKLwkvE1K8qN90OARxK31cRJoclTre9dt6xrpEx2C6IKL0UhZVWUfwXi8IkEhwnEZLQsgKk3PC~I9u6zMuqDagZfn622DYZgFqAvxvp~hQU4R0WwxoBsrrk8UDy7RUFvT4zqVHf~PVDmV-tKpoLf8Gpm6jljXURljkjTSdh92x9mMB2f0B0O5Au3lYJGzO7IO1GGegV10KCRw94GYRXMydaM8Hk7qhF5wnIPJFJ~lohg__&KeyPair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA#page=27Türkiye<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

Etik, Beyan ve Açıklamalar

1. Etik Kurul izni ile ilgili;

- ✖ Bu çalışmanın yazar/yazarları, Etik Kurul İznine gerek olmadığını beyan etmektedir.
☐ Bu çalışmanın yazar/yazarları, Üniversitesi Etik Kurulu'nun tarih sayı ve karar..... ile etik kurul izin belgesi almış olduklarını beyan etmektedir.

2. Bu çalışmanın yazar/yazarları, araştırma ve yayın etiği ilkelerine uyduklarını kabul etmektedir.

3. Bu çalışmanın yazar/yazarları kullanmış oldukları resim, şekil, fotoğraf ve benzeri belgelerin kullanımında tüm sorumlulukları kabul etmektedir.

4. Bu çalışmanın benzerlik raporu bulunmaktadır.