

Makale

GÜNEŞ PİLLERİ ile HİDROJEN ÜRETİMİ*

Tamer KARAKAŞ Ege Üniversitesi Güneş Enerji Enstitüsü

1956, İzmir Menemen doğumlu. Evli ve iki çocuk babası. 1973-1979 İstanbul Üniversitesi Kimya Fakültesi 'nden Kimya Yüksek [4]Mühendisi olarak mezun oldu.

1983-1988 Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde Doktora eğitimini tamamladı.

1989 yılından beri özellikle Hidrojen Enerjisi ve Seçici Yüzeyler konusunda araştırmalar yapmakta.

1982 yılından beri ve halen aynı Enstitüde çalışmakta.

ÖZET

Bu çalışmada, birincil enerji kaynaklarından güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik pillerin yardımı ile soğuk elektroliz hücresinde Hidrojen gazı üretilmesi ve böylece güneş enerjisinin hidrojen yakıtı olarak depolanması hedeflenmiştir. Bu iş için bazik ortamda ve 60°-80°C arasında çalışan bir elektroliz hücresi geliştirilmiştir. Bu hücrede kullanılan uygun bir anot-katot çifti ile katotta Hidrojen, anotta oksijen gazı oluşur. Daha sonraki safhada bu gazlar basınçlı tüplerde depolanarak kullanıma arz olunur.

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Enerji tüketiminin hızla artmasına karşılık mevcut fosil yakıt rezervlerinin sınırlı oluşundan dolayı, birçok ülkede güneş, nükleer, jeotermal, rüzgâr enerjilerinden yararlanmak için değişik araştırmalar yapılmaktadır. Ülkemizde değişik sektörlerde tüketilen enerjinin % 51'i petrolden ve doğal gazdan sağlanmakta olup petrolün de % 90'ı ithal edilmektedir(1). Önemli ihracat açığının bulunduğu ve petrolün ithalat değerinin, toplam ihracat değerine yakın olduğu dikkate alınırsa enerji problemimizin boyutu daha iyi anlaşılır(2).

Enerji problemini çözmek için fosil enerji kaynaklarımızın ekonomik ve verimli kullanımı yanında, uygun bölgelerde güneş, jeotermal, rüzgâr, biomas enerjisinden faydalanmak için teknoloji geliştirmek ve bu alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasını teşvik edici önlemler almak gerekir.

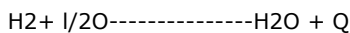
Ülkemiz güneş enerjisi yönünden dünyada oldukça şanslı bir coğrafi bölgede bulunmaktadır. Fakat güneş enerjisi kesikli geldiği için ve zamana bağlı olarak yoğunluğu değiştiği için, sürekli ve sabit enerjiye ihtiyaç duyulan alanlarda kullanılması için depolanması gerekmektedir. Güneş enerjisini depolama yöntemlerinden biri de, güneş enerjisi ile hidrojen üretilip, hidrojen olarak depolamaktır. Bu enerjiyi kullanmak, gelecekte 2030-2050 yıllarında dünyanın hedeflediği enerji kaynaklarından biri olup enerji problemini çözmede en etkili bir yol olacaktır. Genelde kimyasal hammadde olarak kullanılan hidrojen, son zamanlarda yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır. Fosil yakıtlardan ve sudan elde edilen hidrojenin üretimi için diğer bir birincil enerji kaynağına gerek duyulduğundan maliyet artmakta ve bu nedenle dünya dışındaki bir enerji kaynağı ile bu problemin çözülmesi çok yerinde olacaktır, dünyamızın 3/4'ü su olduğu için, eğer bol olan su kaynaklarından, güneş enerjisini kullanarak ucuza üretilecek bir teknoloji geliştirilecek olursa, HİDROJEN ulaşım, sanayi ve konut sektörlerinde olduğu gibi her alanda petrolün yerini alacaktır.

Ege Üniversitesi Araştırma Fonu'nca da desteklenen bu çalışmada, fotovoltaik (PV) güneş pillerinden elde edilen elektrik enerjisi ile suyun elektrolizi yapılarak güneş enerjisinin hidrojen yakıtı halinde depolanması seçeneği hedef alınmıştır. Suyun uygun bir anot-katod ile bazik veya asitik ortamda elektrolizi ile katottan Hidrojen gazı, anottan oksijen gazının çıktığı gözlenecektir. Daha sonraki safhada, çıkan hidrojen gazı sıvı veya gaz olarak basınçlı tüplerde, tanklarda veya gaz olarak metal hidritlerde depolanıp, bilahare güneş enerjisinin bol olduğu yörelerden toplanan ve hidrojen olarak depolanan güneş enerjisi böylece güneş enerjisinin olmadığı yörelere nakledilebilir.

1.2. Yakıt Olarak Hidrojen

Hidrojenin, kullanılmakta olan yakıtların yerini alması halinde sağlanacak faydaları ve karşılaşılabilecek problemleri belirlemek için Hidrojenin özellikleri diğer yakıtlarla Tablo 1.1'de karşılaştırılmıştır.

a- Hidrojen en hafif gaz olduğu için birim kütle sinin yanma enerjisi diğer yakıtlardan çok büyük olduğu halde, birim hacminin yanma enerjisi diğerlerinden çok düşüktür(3).



Q= 120 kJ/g alt yanma ısısı

Q= 140 kJ/g üst yanma ısısı

Q= 11,6 kJ/lt alt yanma ısısı

b- Patlama ve yanma tehlikesi diğer yakıtlardan daha yüksek değildir. Oksijen ve hava ile 500°C üstündeki sıcaklıklarda kendiliğinden yanar. Daha düşük sıcaklıklarda elektrik kıvılcımı veya platin, palladyum gibi katalizörlerle reaksiyon başlatılırsa yanar.

c- Yanma ürünleri yalnız sudur. Azot oksitlerde oluşabilir ancak 800°C'deki katolitik yanma sureti ile azot oksit (NOx) oluşumu önlenebilir.

d- Zehirli olmayan renksiz ve kokusuz bir gazdır.

e- Hidrojenin düşük tutuşma enerjisi ve geniş alev alma sınırları yanma olayında kolaylıklar sağladığı gibi erken tutuşma türünden problemlere de neden olur. Bu problemler, motorda egzoz gazının sirküle ettirilmesi, motora su enjeksiyonu gibi bazı dizayn teknikleri ile ortadan kaldırılabilmektedir.

f- Hidrojen içinde bulunduğu ortamın duvar malzemesine etki ederek onu deforme eder. Bazı elementlerle veya metaldeki bazı safsızlıklarla reaksiyona girerek malzemeyi bozar, karbonla metan, oksitlerle buhar meydana getirir. Ya da hidrojen önce malzeme yüzeyinde adsorblanıp sonra alaşım içine difüzlenerak hidrojen gevrekliği denilen kırılabilirliğe neden olur. Basınç ve sıcaklık arttıkça hidrojen gevrekliği artar. Bu nedenle hidrojen depolama tankları, nakil boruları, pompaları hidrojenle etkilenmeyen malzemeden yapılmalıdır. Hidrojene dayanıklı malzemeler şöyle sınıflandırılmıştır (3):

- Hidrojenden çok etkilenen malzemeler: Çok sert çelik
- Hidrojenden etkilenen malzemeler: Nikel ve alaşımları, titanyum ve alaşımları, yumuşak çelik
- Hidrojenden az etkilenen malzemeler: Paslanmaz çelik
- Hidrojenden etkilenmeyen malzemeler: Monel, Alüminyum, Bakır ve alaşımları (% 71 Ni -% 29 Cu)

g- Ticari hidrojen basınçlı gaz veya sıvı hidrojen şeklinde depolanıp nakledilmektedir. Gaz hidrojen tanklarda 350 bar'a kadar sıkıştırılıp depolanmakta, 140 bar'a kadar basınçlı tüplerde veya 3-50 bar basınçta gaz boruları ile nakledilmektedir. Borularla hidrojen gazının nakli doğal gaz naklinden daha pahalıdır. Sıvı hidrojen 1 litreden 2,5 m³'e kadar değişik hacimlerde dewar kaplarında saklanır. Dewar kabı olarak vakumlaştırılmış perlit, köpük veya çok tabakalı süper yalıtkanlar kullanılır.

Hidrojeni daha uygun ve ekonomik bir şekilde depolamak için yeni yöntemler araştırılmaktadır. Metal hidritleri, metanol ve amonyak gibi bileşikler ve kriyo adsorblanmış (Silika veya aktif karbona 65-100°K adsorbe ettirilerek) hidrojen halinde depolanmaktadır*3). Birçok metal ve alaşımlar hidrojenle birleşerek hidritleri meydana getirirler. Bazıları düşük sıcaklık (0-200°C) ve basınçlarda (1-10 bar) kolaylıkla hidrojenlenebilir ve sonra hidrit kolaylıkla hidrojen verebilir. Mağneziumhidrit (MgH₂), demirtitanyumhidrit (FeTiH_x) ve nadir toprak metallerinin geçiş elementleri ile yaptığı bileşiklerin hidritleri (AB₅H_x) hidrojen depolamada kullanılmaktadır.

h- Ticari hidrojenin satış fiyatı petrolden yüksektir. Birim maliyeti ucuz olacak üretim yöntemleri geliştirilmelidir.

1.3. Hidrojenin Kullanıldığı Alanlar

Hidrojen bugüne kadar genellikle kimya sanayiinde hammadde olarak kullanılıyordu. Son zamanlarda enerji kaynağı olarak kullanılmaya başlandı ve ekonomik bir yakıt haline getirebilmek için birçok araştırmalar yapılmaktadır.

1.3.1. Kimyasal Madde Olarak Kullanıldığı Alanlar:

- Amonyak sentezi,
- Metanol üretimi,
- Petrol rafinerisi,
- Doymamış yağların hidrojenasyonu,
- Oksijen-Hidrojen kaynağı,
- Birçok kimyasal maddelerin üretimi,
- Sentetik sıvı ve gaz yakıtların üretimi, yarı iletken endüstrisi, çelik rafinasyonu, izotop ayırma.

1.3.2. Yakıt Olarak Kullanıldığı Alanlar:

- Uzay araştırmaları ve uçaklarda,
- Kara ulaşımında,
- Elektrik üretiminde,
- Binaların ısıtılmasında,
- Soğutmada,
- Su ısıtmada,
- Piřirmede,
- Sanayide ısıtma işlemlerinde.

Hidrojeni yakmak için uzay araştırmalarında roket motorları, uçaklarda turbo makinalar, taşıtlarda içten yanmalı motorlar, elektrik üretimi için yakıt hücreleri veya mağnetohidrokinamik jeneratörler, ısıtma, pişirme vs. için katalitik ocaklar veya alev ocakları kullanılır.

bakınız: 02.

Tablo 1.1. Yakıtların Özellikleri

	Benzin	Hidrojen (H ₂)	Metan (CH ₄)	Propan (C ₃ H ₈)	Metanol (CH ₃ OH)
Alt Yanma Isısı (1000 kJ/kg)	44	120	50	48	20
Yoğunluk (kg/lit)	-	0,071	0,425	0,58	0,79
MİN. Tutuşma Enerjisi (MJ/kg)	0,25	0,02	0,28	0,25	-
Tutuşma Sıcaklığı (°C)	440	585	540	510	385
Sönme Mesafesi (cm)	0,25	0,06	-	-	-
Alev Alma Limiti (% Hacim Hava)	1,3-7,1	4-75	5-15	2,2-9,5	6,7-13,6
Stokiyometrik Karışım (% Hacim Hava)	1,7	29,6	9,5	-	-
Max. Alev Hızı (Laminer cm/sn)	30	270	38	40	12,3
Alev Emisivitesi	0,1	0,1	-	-	-
Hava Diffüzyon (cm ² /sn)	0,08	0,63	0,2	-	-
Kirlilik CO, CO ₂	var	yok	var	var	
H ₂ O	"	var	"	"	
NOx	"	"	"	"	
CH	"	yok	"	"	

2. HİDROJENİN ÜRETİM USULLERİ

Hidrojenin üretim usullerini ikiye ayırabiliriz. 1. Endüstriyel Usuller: Sanayi hammaddesi olarak büyük çapta üretildiği usullerdir.

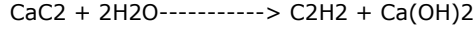
2. Güneş enerjisinden hidrojen üretim usulleri:

Birincil enerji kaynağı olarak güneş enerjisini kullanarak Hidrojen üreten usullerdir.

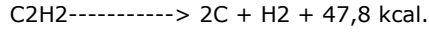
2.1. Endüstriyel Usuller:

2.1.1. Gaz Halindeki Hidrokarbonların Bozunması veya Katalitik Oksidasyonu ile Hidrojen Eldesi:

a-Asetilenin, kalsiyum karbür ve su ile muamelesinden elde edilmesinden sonra 1000°C'de bozunmasından hidrojen elde edilir.



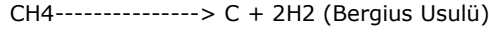
1000°C



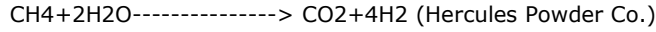
1,5 Atm.

b-Metanın 1000°C'de bozunmasından hidrojen ve karbon elde edilir.

100°C



500°C



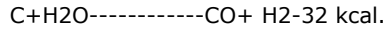
Ni, NiO

2.1.2. Kokhane Gazlarından Hidrojenin Çıkarılması:

Havagazi fabrikalarında ve kömür madenlerine yakın kokhanelerde esas madde olan kok kullanıldıktan sonra geri kalan yan ürünler olup, bu gazlar genel olarak % 50-55 H₂, % 20-30 CH₄, % 8-10 CO, % 10-15 N₂, %1-4 bazı hidrokarbonlar ihtiva ettiklerinden buradan hidrojen çıkarılması yoluyla zenginleştirilir.

2.1.3. Su Gazından Hidrojenin Eldesi:

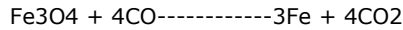
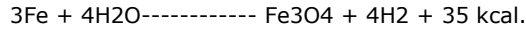
Bu usul suyun karbon tarafından indirgenmesi esasına dayanır. Su gazındaki (%52 H₂, %40 CO, %3 CO₂, %5 N₂, CH₄) hidrojen, diğer komponentlerinden fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki usulle ayrılır.



2.1.4. Demirin Su Buharına Tesiri:

Su buharı 600°C'ye ısıtılmış kızıl derecede bulunan demir üstünden geçirilecek olursa hidrojen gazı teşekkül etmiş olur.

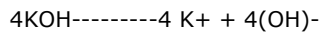
600°C

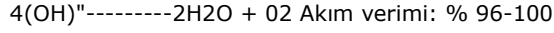
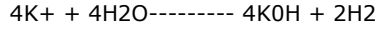


Bu usul teknikte çok kullanılır.

2.1.5. Suyun Elektrolizi:

Hidrojenin çok saf olarak eldesi için kullanılan en önemli metottur. Saf su elektrik akımını geçirmez fakat içine bir miktar potasyum hidroksit veya sodyum hidroksit ya da asit ilave edilecek olursa sonra elektrolize tabi tutulacak olursa katotta hidrojen gazı (%99,9), anotta oksijen gazı çıkışı olur. Reaksiyon şöyledir:





Elektroliz metodu, hidrojenin az miktarlarda kullanıldığı tesisler için ve elektriğin ucuz olduğu yerlerde ekonomiktir.

Sonuçta, enerji kaynağı hidrojenin üretiminde 1, 2, 3 usulleri uygun değildir. Çünkü bu süreçlerde fosil enerji kaynaklarından yararlanılmakta ve hidrojen zaten yakıt olan maddelerden elde edilmektedir. Bunların yakıt olarak doğrudan kullanılması daha ekonomiktir.

Bugünkü koşullarda suyun elektrolizi yolu ile üretilen hidrojen pahalıya gelmektedir. Ancak çok saf hidrojenin gerektiği kimya ve gıda (margarin vs.) sanayiinde elektrolize başvurulur, ancak ucuz elektrik üretimi ile bu faktör düşebilir. Bunun için güneş enerjisi gibi yeni alternatif enerji kaynakları ile ucuza elektrik üretip bu enerjiyi hidrojen olarak depolayarak istenildiği yerde, istenildiği kadar kullanımı sağlanabilir. Çünkü ne şekilde üretilirse üretilsin elektrik enerjisi uzun müddet depolanamaz.

2.2 Güneş Enerjisinden Hidrojen Üretim Usulleri

Güneş veya elektrik enerjisinin depolanmış bir şekli hidrojen teknolojisidir. Bu yönde geniş çapta yapılmış planlar mevcuttur. Örneğin Ortak Pazar'ın İngiltere/Culham'daki büyük umutlar bağladığı hidrojenin füzyonu ile ilgili J.E.T. projesi,

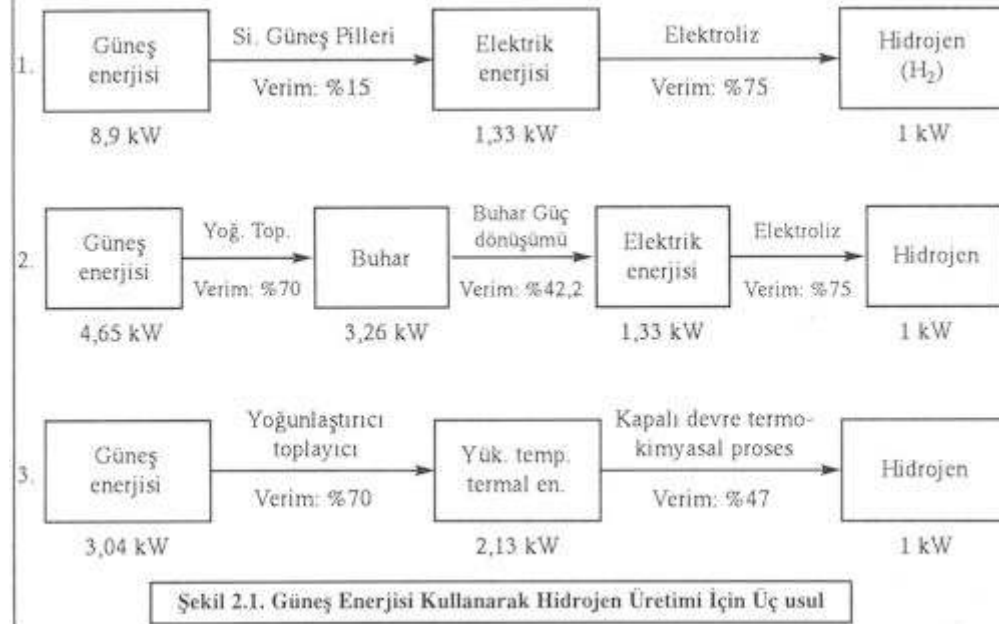
Almanların bir projesinde, Büyük Sahra gibi güneş enerjisinin bol ve saha olarak çok uygun olduğu yörelerde, güneş enerjisi ile ucuz elektrik enerjisi üretme ve bunu hidrojenin elektrolizinde kullanma, daha sonra üretilen hidrojeni Orta Avrupa gibi tüketim alanlarına taşıma, başka bir projeleri ise şu anda yürürlükte olan Suudi Arabistan ile ortak 10 kW ve 350 kW gücündeki iki büyük Hydrosolar projeleridir.

Güneş enerjisini birincil enerji kaynağı olarak kullanan ve sudan hidrojen üreten endüstriyel önemi olan üç alternatif metot vardır. Dördüncü metot olan Direkt Fotoelektrokimyasal pillerden Hidrojen üretimi pillerin veriminin %4 gibi çok düşük olmasından dolayı üzerinde durulmayacaktır. Blok şemaları şöyledir(4). Şekil 2.1. incelendiğinde üç alternatif metot ile üretilen hidrojenin 1 kW'ı için gerekli olan verim ve enerji miktarları görülmektedir. Tablo 2.1.'de ise bu metotlarla üretilen hidrojenin maliyetleri verilmiştir. Hesaplama faiz oranı (Sermaye ve amortisman): %15, yıllık çalışma süresi 8.000 saat parametre olarak alınmıştır(4).

2.3. Güneş Enerjisinden Güneş Pilleri ile Hidrojen Üretimi

Güneş pilleri (Fotovoltaik Elemanlar)'nden elektrik üretimi ilk olarak 1958'li yıllarda %8 verimle uzay uygulamalarında kullanılmıştır. Üretim teknolojisindeki hızlı gelişmeler sonucu endüstriyel amaçlar için kullanılacak pillerin maliyeti giderek düşmüş ve haberleşme sistemleri, trafik sinyalizasyonu, su pompajı vs. gibi birçok alanda uygulanmaya başlanmıştır(4).

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek amacı ile kullanılan piller esas itibarı ile monokristal yapıda olan saf silisyum elementinden oluşmaktadır. Silindir biçimindeki saf silisyum elementi 0,5 mm kalınlığında ince dilimler halinde kesilerek 10 cm çapında dairesel plaklar elde edilmektedir. Bu plaklara özel tekniklerle bor ve fosfor dopingi yapılarak (p-n) bağlantılı yarı geçirimli bir sistem elde edilmektedir. Böylece elde edilen hücrelerden 18 veya 36 adedi seri olarak bağlanarak 6 veya 12 volt'luk modüller halinde kullanılmaktadır.

bakınız: 03

Bir fotovoltaik hücre üzerine güneş ışınlarının düşmesi halinde bir taraf pozitif diğer taraf negatif yüklenmekte ve bir elektron akımı meydana gelmektedir. Hücreden çekilen akım miktarı hücre yüzeyine gelen toplam güneş ışınları miktarına bağlı olmaktadır. Bu pilin akım ve potansiyel özellikleri sıcaklıkla da değişir. Sıcaklık arttıkça çekilen akımda artış fakat potansiyelde düşme görülür(4).

bakınız: 04**Tablo 2.1. Hidrojenin Maliyetinin Hesaplanması**

	Güneş Pili-Elektroliz	Güneş - Buhar Güç Dön. Elek.	Güneş - Termo-kimyasal Usul
a) Sermaye Mali. (Dolar/kW-H ₂)	15.000.-	1.020.-	575.-
b) Sermaye ve Amortisman Milayeti (Dolar/kWh-H ₂)	0,281	0,0192	0,0108
c) Hidrojenin maliyeti (Dolar/10 ⁶ BTU-H ₂)	82,48	5,6	3,15

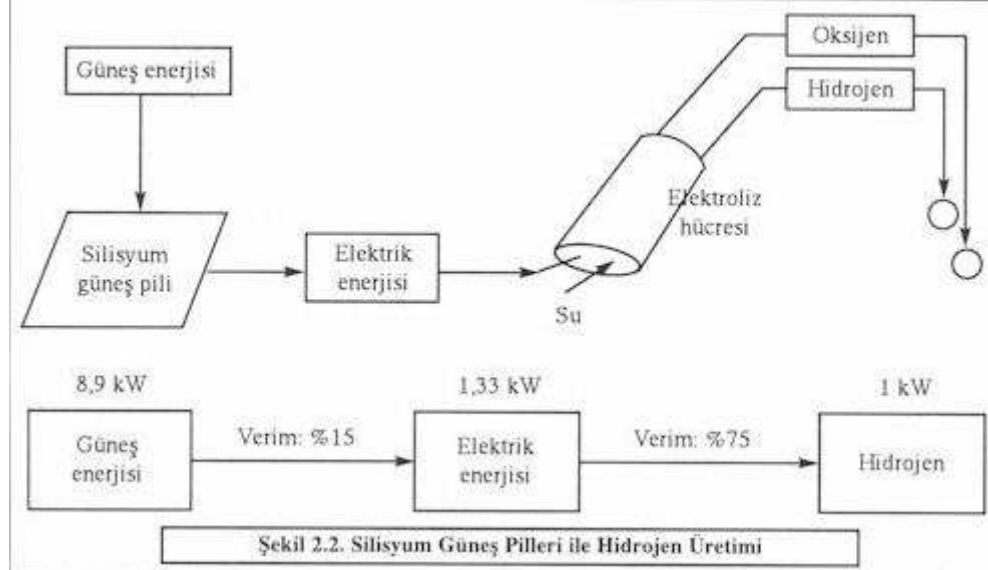
Bu usul iki adımlı bir prosestir. İlk adımda silisyum güneş pilleri tarafından güneş enerjisinin elektrik enerjisine direkt dönüşümü sağlanır. Bu dönüşümün verimi teorik olarak maksimum % 24'dür. Gerçekte kazanılan verimler %11 civarındadır. Son yıllarda % 19'a çıkmış bulunmaktadır. Bunların ortalamasının alınması uygundur. Bu yüzden % 15'lik bir verim miktarı kullanılacaktır. Bu değer daha önce Enstitümüzde Araştırma Fonu projesi olarak yapılan fotovoltaik pilin verim değeri ile aynıdır(5). Elektroliz adımı için verim %80 civarında olup şu an için verim % 70-75 arasında değişmektedir. Ortalama değer kullanılarak elektroliz verimi % 75 alınacaktır. Böylece bu prosesin bütün sistem verimi yaklaşık % 11 'dir.

Şekil 2.1.'deki bu üç usulü karşılaştırma için genel bir temel seçilmiştir. Seçilen temel 1 kW'lık bir hidrojen çıkışı olacaktır. Bunun anlamı proseste üretilen hidrojenin hepsi bir yakıt olarak yakıldığında yanmada 1 kW oranında ısı enerjisi açığa çıkar. Kolaylık olması için hidrojenin üst ısı değeri (140 kJ/gr) çıkan (salınan) ısı miktarına eşit olarak alınmıştır. Bu metodun kullanılması ile her bir adımdaki enerji giriş ve çıkışı hesaplanabilir. Şekil 2.2.'de görüldüğü üzere 1 kW'lık bir hidrojen çıkışı için elektrolizde 1,33 kW'lık bir giriş akımı gerekmektedir. Bu dönüşüm olayında güneş pillerine 8,9 kW'lık bir güneş enerjisi düşmesi gerekmektedir.

Biliyoruz ki güneş enerjisinin kullanımı sermaye yoğun bir yatırımdır. Bu nedenle Hidrojen üretiminde kullanılan metodların genel bir maliyet kıyaslaması Tablo 2.2. 'de gösterilmiştir. Ayrıca güneş enerjisi kullanarak hidrojen üreten proseslerin maliyetleri de Tablo 2.1.'de verilmişti. Burada, güneş pillerinden elektrolizle hidrojen üreten proseste maliyet çıkarılırken 1975 yılından beri bu konuda yapılan çalışmalar taranmıştır. İlk olarak 1975 yılında yapılan çalışmalarda Wolf(4)'un verilerine göre 1 m² güneş pillerinin maliyeti 7.000 dolar iken bu değer 1984'lerde 2.800 Dolar olmuş, bugün bu değer 1 WP'i için 4-5 dolar olup, 1 m² güneş pili maliyeti 555 dolar olmaktadır. Fakat son yapılan çalışmalar maliyetin 2000 yılında Wp başına 0,2-0,4 dolar yani 1 m² güneş pili için 22-45 dolar'a düşeceğini göstermiştir(6). Güneş pili 8,9 kW'lık bir güneş enerjisi istemektedir. Hesaplama temel alınan 1 günde 12 saat için (New Mexico çöl koşulları) ortalama güneş enerjisi yoğunluğu 700 W/m²'dir.

Ya da bir günde 24 saatte ortalama 350 W/m²'lik giriş akımından 8,9 kW'lık enerji elde etmek için 25,4 m²'lik silisyum güneş pili gerekmektedir. Bunun maliyeti m²'si 7.000 dolardan 178.000 dolar (1975 yılı) olmakta, 555 dolardan 15.000 dolar olmaktadır. Bu sistem ülkemiz koşullarında 2,33 misli pahalı olmaktadır. Çünkü Türkiye güneş enerjisi potansiyeli çalışmalarında(2) yıllık ortalama ışınım şiddeti 308 cal/m²-gün (3,6 kW-h/m²-gün) ve yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saat olarak verilmiştir, buradan 24 saatte gelen güneş radyasyonu ortalama 150 W/m² olmaktadır. 8,9 kW güneş enerjisi eldesi için bu maliyet 2,33 misli güneş pili gerektirdiğinden 59,18 m² güneş pili 35.000 dolara mal olmaktadır. İki hücreli bir elektroliz ünitesi 25.000.000.- TL civarında olup toplam sistemin maliyeti 300 milyon lira/kW,H₂ olmaktadır.

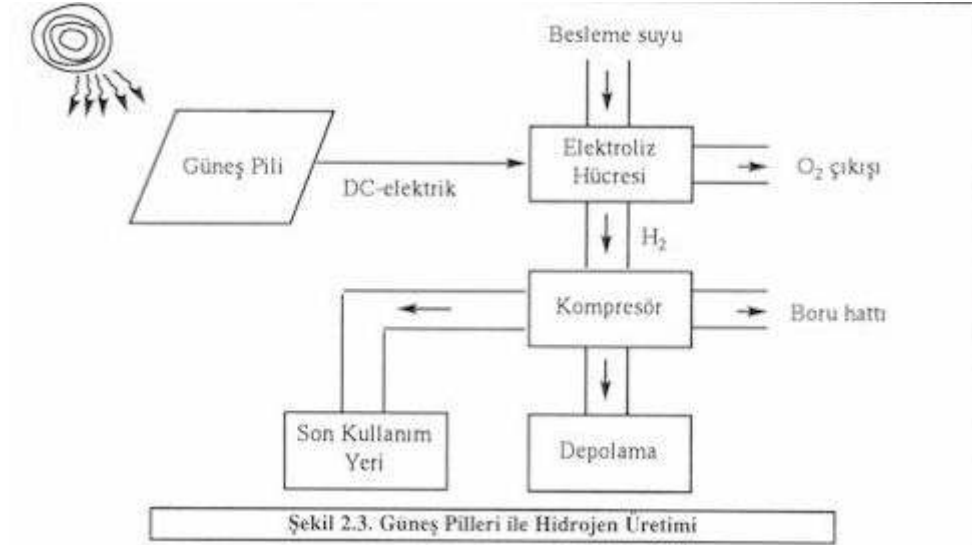
bakınız: 05



Bu şekilde büyük kapasitelerde üretime geçmeden önce sistemin uygulanabilirliğini görmek, ekonomik değerlendirilmesini daha gerçeğe yakın yapabilmek, pratikte karşılaşılan problemleri çözmek için bir prototip tesis kurulup çalıştırılmıştır. Sistemin akım şeması Şekil 2.3.'de görülmektedir ve üç ana bölümden oluşmaktadır:

- I. Güneş Pilleri,
- II. Elektroliz Hücresi,
- III. Depolama Üniteleri.

bakınız: 06



I. Güneş pilleri şimdilik tamamen ithal menşeli olup döviz karşılığı alınmaktadır. Pillerin 1 kW/m² şiddetinde, 3 amper mertebesinde kısa devre akımı ile 0,5 volt civarında DC (doğru akım) akımda açık devre gerilimi üretir. Gerilimlerin çok düşük olması nedeni ile güneş pilleri çıkışta 12 volt oluşturacak biçimde birbiri ile seri bağlanarak modüller oluşturur ve doğru akım (DC) üretirler, bu şekilde satışa arz edilirler. Güneş pillerinin ömürü teorik olarak sınırsızdır, ancak pislik, nem korozyon gibi dış etkenler nedeni ile modül ömrü 20 yıl olarak verilmiştir.

II. Elektroliz hücresi, hidrojen (katotta) ve oksijenin (anotta) toplanma şekline, büyüklüklerine ve yapılaş ayrıntılarına göre birbirinden farklılıklar gösterir.

bakınız: 07

Tablo 2.2. Hidrojenin Değişik Yöntemlerle Üretim Maliyetinin Tahminleri ve Satış Fiyatı.

URETİM USULLERİ	URETİM MALİYETİ (Dolar/10 ⁶ BTU)
Kömürün Gazlaştırılması	2.5
Kömürün Gazlaştırılması	4.5
Kömürün Gazlaştırılması	11.0
Petrolün Kısmi Oksidasyonu	11.0
Su Buharının Demiroksit ile İndirgenmesi (Enerji Kaynağı: Tabii Gaz)	25.0
Suyun Elektrolizi (Enerji Kaynağı Olarak):	
a- Fosil Yakıtlar	25.0
Fosil Yakıtlar	10.4
b- Nükleer Enerji	15.0
c- Güneş Enerjisi	9.1
d- Güneş Pilleri (PV)	975.0 (1975)
Güneş Pilleri (PV)	390.0 (1984)
Güneş Pilleri (PV)	82.5 (1981)
Suyun Termokimyasal Bozunması Enerji Kaynağı:	
a- Fosil Yakıtlar	30.0
b- Nükleer Enerji	5.8
c- Güneş Enerjisi	8.4 (1984)
Güneş Enerjisi	3.15 (1991)
Fotoelektrokimyasal Piller	120.4
Ticari Hidrojenin (Sıkıştırılmış Gaz) Satış Fiyatı:	
a- A.B.D.	56.0
b- Türkiye	115.4

a- 1 BTU: 1.055 kJ
b- Kaynaklar:

Ticari elektroliz ünitelerinde % 10-25 NaOH,

KOH veya asitik elektrolitler bulunan bir banyoya daldırılmış demir elektrotlar (Nikel kaplı olabilir) arasından doğru akım geçirilir. Zaten güneş pilleri de direkt doğru akım üretmektedir. Elektroliz hücresine sürekli besleme suyu verilir. Verimlilik kW-h başına 210 İt. H₂ ve 110 İt. O₂ civarındadır.

Sudan hidrojen ve oksijen reaksiyonu için ayrışma voltajı 1,27 volttur. Fakat çalışma voltajı banyonun ısınması, iç direnç, gazların emülsiyonu vs. yüzünden yaklaşık olarak 2,3-2,7 volt'tur. Amperaj çalışma şeklinin büyüklüğüne ve akım şiddetine göre değişir. Elektrotlar bir diyafragma vasıtası ile birbirinden ayrılırlar. Banyo sıcaklığı 60°-70°C civarındadır.

Elektrolizde üretilen hidrojenin yanında az miktarda (ortalama %0,3 kadar) oksijen bulunabilir. Elektrolizden çıktıktan sonra platin veya palladyum doldurulmuş bir kulede hidrojenin yanındaki oksijen alevsiz ve patlamasız bir şekilde su haline geçirilir, böylece hidrojen daha fazla saflandırılmış olur.

III. Depolama üniteleri; elektroliz hücresinden çıkan oksijen gazı ve katalitik yanma odasından geçirilerek saflandırılan hidrojen gazı daha sonra 1 atm.'deki toplama tanklarına gelir, burada günlük üretimler depolanır. Hidrojen gazı toplama tankı dolunca çalışmaya başlayan çok kademeli pistonlu bir kompresörle 89 bar'a sıkıştırılarak, çelik silindirlere (tüplerde) depolanır. Daha sonra tüketicilere sevk edilir.

3. SONUÇ

Birincil enerji kaynağı olarak güneş enerjisini kullanarak, güneş pilleri ile hidrojen üretilmesi ileri ülkelerin gelecekteki enerji planlarındaki en önemli hedeflerden birisidir. Çünkü hidrojen yakıtı fosil yakıtlara göre 4-5 defa daha güçlü ve üstelik onlara göre hiçbir çevre kirletici özelliği olmayan yegane yakıttır. Tek artışı sudur. Aynı zamanda fosil enerji kaynakları gün geçtikçe azalmaktadır. 2050-2070 yıllarında kütenecekleri varsayılmaktadır.

Bu nedenle hidrojen üretimi, güneş enerjisinin çok etkili olduğu bölgelerden, diğer fakir olan tüketim bölgelerine naklini de mümkün kılar. Çünkü üretilen elektrik enerjisinin çok uzak bölgelere nakli ekonomik olmaz, hem de kayıplar olur, verim düşer. Aynı zamanda elektrik enerjisi bol miktarda depo edilemez, üretildiği anda kullanılması gerekmektedir. Ancak güneş enerjisini hidrojen yakıtı olarak depolayıp sonra nakletmek çok daha uygundur. Böylece hidrojen bu enerji kaynakları ile tüketim bölgeleri arasında bir köprü oluşturacak temiz bir enerji alternatifi ve en önemli çevre dostu yakıt olmaya aday tek sentetik yakıttır.

KAYNAKLAR

1. Çolak, M., "Fotovoltaik Prensibi ile Güneş Enerjisinden Doğrudan Elektrik Üretimi", E.U. Araştırma Fonu Projesi, 1985/009, İzmir (1989).
2. Dünya Enerjisi Konferansı, Türk Milli Komitesi "Enerji Raporu" 1989, Ankara (Şubat 1991).
3. Enerji Bülteni Enerji-92, Sayı: 9, sf.: 7, EİE-elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ankara (1992).
4. Kara kaş, T, "Güneş Enerjisinden Hidrojen Üretimi" IV, Türk-Alman Enerji Sempozyumu, 2-4 Mayıs 1991, İzmir (1992).
5. Kuru, N., "Fotoelektrokimyasal Yöntemle Hidrojen Üretiminde Elektrotların geliştirilmesi", E. U. Müh. Fak. Doçentlik Tezi, İzmir (1984).
6. Ogden, J.M., Williams, R.H, "Electrolyte Hydrogen from Thin-film Solar cells", J. Hydrogen Energy, Vol: 15, No: 3, pp: 155 (1990).

DÜZELTME

Dergimizin 52. sayısında yayınladığımız Doç. Dr. Z. Sema Baykara'ya ait "Hidrojenin Günümüzdeki Durumu" isimli makalenin derginin 55. sayfasındaki Tablo 26'nın düzeltilmiş şekli aşağıdaki gibidir. Yapılan yanlışlıktan dolayı okuyucularımızdan özür dileriz.

DÜZELTME

Dergimizin 52. sayısında yayınladığımız Doç. Dr. Z. Sema Baykara'ya ait "Hidrojenin Günümüzdeki Durumu" isimli makalenin derginin 55. sayfasındaki Tablo 26'nın düzeltilmiş şekli aşağıdaki gibidir. Yapılan yanlışlıktan dolayı okuyucularımızdan özür dileriz.

Tablo 2(b): Güneş enerjisinin kullanıldığı muhtelif proseslerle üretilen hidrojen maliyeti⁽⁴⁾.

İncelenen Proses Türleri	Maliyet (maliyet) _j	Maliyet (maliyet) _k
a) Suyun Güneşle ¹ Elektrolizi	1.1	4.4
b) Suyun Güneşle ² Elektrolizi	3.9	15.2
c) Suyun Güneşle ³ Elektrolizi	2.6	10.1
d) Suyun Güneşle ⁴ Termolizi	3.3	12.5
e) Suyun Melez Termoliz ve Elektrolizi (a+d)	2.2	8.6
f) Kömürün Güneşle ⁵ Gazlaştırılması ⁶	0.8	2.9
g) Kömürün Melez Gazlaştırılması (f+6)	0.7	2.6
h) Güneşle ⁵ Termokimyasal Çevrim ⁷	1.9	7.3
i) Güneşle ⁵ Melez Termokimyasal Çevrim ⁸	1.6	6.2
j) Ticari Elektroliz	1.0	3.8
k) Ticari Kömür Gazlaştırma ⁶	0.3	1.0

1: Güneş proses ısıyla (parabolik odaklayıcı) elektrik üretimi

2: Güneş pilleri ile elektrik üretimi

3: Güneş proses ısıyla (güneş kulesi) elektrik üretimi

4: Güneş proses ısı (parabolik odaklayıcı) üretimi

5: Güneş proses ısı (güneş kulesi) üretimi

6: Koppers-Totzek kömür gazlaştırma yöntemi

7: GA Termokimyasal çevrimi

8: Mark 11 Termokimyasal çevrimi

Kabuller: %15 sabit giderler

\$10/ton kömür fiyatı