

GÜNEŞ PİLLERİ

F. Birsen (TURGU) ALAÇAKIR

EİEİ Genel Müdürlüğü

ÖZET

Bu tebliğde, güneş pillerinin önemi vurgulanarak, günümüzdeki uygulama alanları, dünyadaki ve ülkemizdeki durumu gözden geçirilmiştir. Ayrıca Elektrik İşleri Etüt İdaresinde bu konuda yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

GİRİŞ

Bilinen enerji kaynaklarının azalmaya başladığı gerçeği, dünyada petrol ve petrol türevi yakıtların çok yoğun bir şekilde tüketilmesinden kaynaklanan çevresel problemler ve bu enerji kaynağı yakıtların yakın bir gelecekte tükeneceği endişesi araştırmacıları esas olarak, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanarak alternatif yakıtlar aramaya itmiştir. Özellikle 1973 petrol krizinden sonra, bilim adamlarının yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgilerinin artması bu konudaki teknolojilerin hızla geliştirilmesine neden olmuştur. Önerilen yakıt kaynaklarından başlıcaları güneş, rüzgar, jeotermal, biyomas, yakıt pilleri, hidrojen ve nükleer enerji kaynakları olarak sayılabilir.

Günümüzde yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları (Nükleer hariç), dünya enerji talebinin ancak % 0.7' sini karşılayabilmektedir. Yapılan en iyi tahminlere göre, yenilenebilir enerji kaynaklarının 2020 yılında dünya enerji talebinin % 6'sını karşılayabileceği belirlenmiştir.

(D

Güneş enerjisinin dünyadaki uygulamaları, doğrudan ve dolaylı elektrik üretimi ve termal uygulamalar olmak üzere ikiye ayrılır. Bu tebliğde, doğrudan elektrik üretimi yapan güneş pillerinden bahsedilmektedir.

GENEL BİLGİ

Güneş pilleri güneş enerjisini direk olarak elektrik enerjisine çeviren yan iletken aygıtlardır. İlk olarak 1954 de yapılmış olmaları bakımından yeni sayılabilen enerji üretim araçlarıdır. Yakın bir zamana kadar sadece uzay araçlarında kullanılan güneş pilleri petrol krizinden sonra yeryüzünde yaygın olarak kullanılmaları düşünülmüş ve ticari ortama girerek çeşitli uygulama alanları bulmuştur.

Güneş pillerinin yapımı ekonomik açıdan pahalı olduğundan, son yıllarda verim artırma çalışmaları hızlanmıştır. Bu çalışmalarla pek çok teknik problemlerin çözülmesiyle veriminin yükseltilmesi ve fiyatlarının azalması sağlanacaktır.

Güneş pillerinin gelecekte yaygın olarak kullanılmasını cazip kılan belli başlı avantajları şunlardır.

1. Sistemde hareketli parçaların bulunmayışı,
2. Ömürlerinin çok uzun olması (20 yıl),
3. Bakım masraflarının çok az olması,
4. Çevre kirlenmesine neden olmamaları,
5. Bir watttan birkaç kilo Watt a kadar geniş bir güç bölgesinde uygulanabilir olmaları,
6. Ulaşımı zor bölgelerde, alçak güçlü sistemlerde, binaların, arabaların, yatların üzerinde küçük birimler halinde kullanılabilir olmalarıdır,

Temeli yarı iletkenler teknolojisine dayalı güneş pilleri için kullanılan maddeleri kristal ve amorf olarak ayırmak mümkündür. Kristal olanlar tek ve polikristal şeklinde türlere ayrılırlar. Son yıllarda kristal güneş pillerine alternatif olan, daha ucuz ve kolay teknoloji gerektiren

Tablo. ÇEŞİTLİ GÜNEŞ PİLLERİ VE VERİMLERİ

GÜNEŞ PİLLERİ	ALAN (cm ²)	VERİM(%)
Ticari Ortama Girmemiş Olanlar		
Si, Tek kristal	862	21.6
Si, Polikristal	1017	15.3
CIGS (Cu In Ga Se ₂), Polikristal, ince film	938	11.1
CIGS (Büyük Alanlı)	3883	9.7
CdTe (Güneşi İzliyor)	838	8.1
CdTe (Büyük Alanlı)	6838	7.8
a-Si / a-Si Ge / a-SiGe, Çok Eklemler	903	10.2
GaAs	16	21.0
Ticari Ortama Girmiş Olanlar		
	ALAN (m ²)	
Si, Tek Kristal	28	15
Si, Polikristal	35	12
GaAs, Tek kristal	17	25
Amorf Si	53	9

amorf yapılı, ince film teknolojisine dayalı güneş pilleri yapılmaya başlanmıştır. Güneş pillerinin yapımında kullanılan belli başlı yarı iletken maddeler: Silisyum, Kadmiyum Sülfür, Galyum Arsenid, Kadmiyum Tellür gibi elementlerdir. Çeşitli güneş pilleri ve verimleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. (2)

Bu tabloda görülen ince film teknolojisine dayalı amorf yapılı güneş pilleri de ticari ortama girerek uygulama alanları bulmaya başlamıştır. Gelecekte de hem kolay teknoloji içermesi hem de kolaylıkla yüksek verimlere çıkılabilmemesinden dolayı cazip görünmektedir.

Amorf yapılı güneş pilleri üzerinde yapılan çalışmalar, yeni olmakla birlikte ucuz ve kolay elde edilebilir olmaları bakımından, kristal yapılı güneş pillerine göre daha çok gelecek vaat etmektedir. RCA ve Fuji grupları, % 1 İve % 9 verimlerde geniş alanlı PIN türü amorf güneş pilleri elde etmişlerdir. Bundan başka, Sharp-ECD Solar grubu % 12.4 verimli çok eklemli amorf silisyum güneş pilleri oluşturmuşlardır. Amorf silisyum güneş pilleri daha çok hesap makineleri, taşınabilir televizyon, batarya yükleyicileri vb. çeşitli uygulama alanları bulmakta, Japonyada her yıl 3 Milyon civarında hesap makinesi amorf silisyum güneş pilleri ile çalıştırılmaktadır.

Güneş pilleri tüm dünyada aydınlatma, kırsal ve uzak yerleşim bölgelerinde güç kaynağı olarak kullanılmaktadır. Su pompalamada, arıtmada, deniz suyundan içme suyu elde etmede, portatif tıp cihazlarının soğutulmasında, sterilizasyonda, iletişim uygulamalarında (radyo repeater) şamandıralarda, hava ölçüm cihazlarında, nehir seviyesi ve sismografi ölçümlerinde, portatif radyo ve televizyonlarda kullanılmaktadır.

DÜNYADAKİ UYGULAMALAR

Gelişmekte olan ülkelerdeki kurulu sistemler başlıca, evlerde veya topluma ait binalarda (okullar, sağlık ocakları) kullanılırken, gelişmiş ülkelerde güvenlik, cadde ve tünel aydınlatmasında kullanılmaktadır. Onbinden fazla güneş pilleriyle çalışan su pompası sistemleri dünyanın çeşitli bölgelerinde çalışmakta ve alınan deneyimler başarılı olmaktadır. Diğer taraftan ikibin civarında güneş pilleriyle çalışan aşı soğutucusu sistemleri 5 yıldan beri kullanılmaktadır. Amerikadaki Güneş Enerjisi Araştırma Enstitüsü tarafından yapılan araştırmaya göre güneş pili sistemlerinin üretimi dünya çapında 1 MWp'den 35 MW'e ulaşmıştır. 2000 yılında 1000 MWp'e ulaşacağı tahmin edilmektedir.

Güneş pillerinin üretimini yapan ülkelerin başını Japonlar çekmektedir (16.8 MW). ABD 14.8 MW ve Avrupa 10.2 MW güç kapasitesi ile bu ülkeyi izlemektedir. Diğer ülkeler, 4.9 MW üretimle Cezayir, Brezilya ve Hindistan'dır. 1 MW'lık sistem uzun bir süreden beri Sicilya'da çalışmaktadır. 400 MW toplam kapasiteye sahip 9 adet güneş pili sistemi de Kaliforniya'da çalışmaktadır. Bu bağımsız sistemlerden başka, elektrik şebekesine bağlı güneş pili sistemleri

dünya genelinde 33.6 MW civarındadır. Bu sistemler sırasıyla aşağıdaki ülkelerde bulunmaktadır:

Belçika (63 kW), Almanya (990 kW), Yunanistan (150 kW), İrlanda (50 kW), İtalya (5500 kW), Japonya (610 kW) ve ABD (25000 kW). En büyük sistemler, Kaliforniya'da 5 MW ve İtalya'da 3MW'dır. (3)

ÜLKEMİZDE GÜNEŞ PİLLERİ İLE İLGİLİ AR-GE ÇALIŞMALARI

Ülkemizde, elektrik enerjisinin götürülmesinin ekonomik olmadığı uzak yerleşim birimlerinde, yangın gözetleme kulelerinde, radyolink ve TV aktarıcılarında, telsiz röle istasyonlarında, petrol boru hatları katodik korumasında, küçük köy ve mezraların enerjisinin karşılanmasında, deniz fenerlerinde, adalarda ve küçük ölçekli zirai sulamada kullanılması amacıyla, güneş pilleri konusundaki ar-ge ve uygulama çalışmaları sürdürülmektedir.

İdaremizde güneş pilleri ile ilgili projeler 1983'de başlamış olup, bu projeler sırasıyla aşağıda özetlenmiştir. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) ile ortaklaşa yapılan bir proje kapsamında, Metal-yalıtkan-yarı iletken (MİS) türü, 2 W'lık güneş pili modülü imal edilmiş ve bu teknoloji konusunda bilgi birikimi sağlanmıştır.

Diğer bir projede, güneş pili sistemlerinin yapısal ve işletim özelliklerinin araştırılması amacı ile 1.6 kWp gücünde bir güneş pili sistemi (tek kristalli) tesis edilmiştir. Sistemde 130 Ah 'lık akü, 3 kVA'lık inverter ve kontrol birimi bulunmaktadır. Sisteme yük olarak bir buzdolabı (170 W) ve 2 adet floresan lamba (100 W) bağlanmıştır. Sistemin gerekli ölçümleri yapılmış ve modül verimi % 9.2 olarak bulunmuştur.

Güneş pillerinin, küçük ölçekli zirai sulamada kullanılması imkanlarının araştırıldığı projede ise, yurtdışından getirilen 616 Wp gücünde güneş pili (polikristal) modüllerinden oluşan sistem, dalgiç pompa, elektronik kontrol devresi ve inverterden oluşmaktadır. Sistem performansının belirlenebilmesi için, pompalanan su miktarı ve modül düzlemindeki toplam ışınım şiddeti bir yıl boyunca ölçülmüştür. Ayrıca sistem tasarımında kullanılacak bir bilgisayar modeli hazırlanmıştır.

Güneş Pilleri aydınlatma projesinde ise, çevre aydınlatmasında kullanılmak üzere bağımsız birimler geliştirilmiştir. Bir birim, iki adet güneş pili (polikristal) modülü (her biri 48 Wp), 18 W'lık alçak basınçlı sodyum buharlı lamba, inverter, kontrol birimi ve kuru aküden oluşmaktadır.

Mobil PV sistemi projesinde ise, gösterim amacıyla, gezici olarak kullanılacak sistem, 576 W toplam gücündeki güneş pili modülleri (polikristal), 1 kVA inverter, kontrol birimi ve 65 Ah'lık kuru aküden oluşmaktadır. Güneş pilleri katlanabilir 3 bölüm halinde bir römork üzerinde monte edilmiştir. Gerekli ölçümler alındığında sistem verimi % 8 olarak bulunmuş-

tur.

PV trafik ikaz sistemi projesinde ise, karayollarında trafik ikazı için kullanılabilir olan güneş pili sistemi tasarlanmıştır. Sistemde 2 adet 48 W'lık polikristal.güneş pili modülü, kontrol birimi, 65 Ah'lık kuru akü ve 60 W'lık lambadan oluşmaktadır. Gerekli ölçümler alınarak, sistem verimi % 8 olarak bulunmuştur.

Gelecek dönemde ise, güneşi izleyen ve sabit eğilimlendirilmiş güneş pili sistemlerinin enerji üretimlerinin karşılaştırılması ve 4000 W'lık güce sahip şebekeye enerji sağlayan güneş pili sistemleri üzerinde çalışmalar yapılacaktır.

GÜNEŞ PİLİ SİSTEMLERİNİN EKONOMİK DURUMU

Güneş Pili sistemlerinin işletme ve bakım maliyetleri çok az olduğu için, toplam sistem maliyetinin büyük bir bölümünün ilk yatırım maliyeti oluşturur. Önümüzdeki yıllarda, üretim teknolojisinin geliştirilmesi, yüksek verimli pillerin yapılması, modül yapım ve tasarım tekniklerinin geliştirilmesi sonucunda ilk yatırım maliyetinin azalacağı, buna paralel olarak daha az alan kaplayan yüksek güçteki güneş pilleri imal edilerek daha pratik hale getirileceği umulmaktadır. 1995 yılı itibariyle modüllerin fiyatı (polikristallerde): 5 \$/W civarındadır. Güneş pili sistemlerin ilk yatırım maliyetleri içinde: Arazi, tesisat, montaj, inverter, kontrolbirimi, akü gibi elemanların maliyeti de yer alır. Bu destek sistemlerinin maliyeti güneş pili sistemi ilk yatırım maliyetinin yaklaşık yarısını oluşturduğu için, bu tür maliyetleri azaltmak, en az modül maliyetini azaltmak kadar önemlidir.

Bir güneş pili sisteminin maliyeti, depolama yapılmadığı zaman 0.3 - 0.4 \$/kWh civarındadır. Bu maliyet ile güneş pili sistemleri, enterkonnekte şebekenin olmadığı veya ulaşımının zor ve pahalı olduğu yerlerde, küçük güçteki uygulamalarla (birkaç kW kadar) bilinen enerji kaynakları ile ekonomik açıdan yarışabilir düzeydedir.

Elektrik şebekesinin olduğu yerlerde güneş pili sistemlerinin kullanılması ekonomik değildir.

SONUÇ

Güneş pilleri uzun ömürlü dayanıklı, çevre kirliliği yaratmayan yarıiletken aygıtlardır. Çalışmaları sırasında hiç bir elektriksel sorun çıkarmazlar, çok az bakım gerektirirler. Modüler yapıda olan güneş pilleri birbirlerine seri ve paralel bağlanarak, bir kaç volttan, birçok volta kadar çıkış verebilirler. Çok küçük güç gereksinimlerini karşılayabildikleri gibi, kendi başına bir güç santrali gibi de çalışabilirler. Verimlerinin düşük ve ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması güneş pili sistemlerinin en büyük dezavantajlarıdır. Ancak 2000'li yıllara kadar

maliyetinin şebeke elektriği ile yarışabilecek düzeye geleceği umulmaktadır. Halen dünya enerji talebinin % 80 'nini oluşturan fosil yakıtların neden oldukları asit yağmurları, karbon-monoksit, karbondioksit, kükürtdioksit vb. yayınımlarla dünya iklimi için tehlike oluşturduğu bilinmektedir. Güneş pillerinin en önemli üstünlüğu, benzer olarak diğer yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları gibi çevreye zarar vermemesidir.

KAYNAKLAR

(1) Renewable Energy Resources : Opportunities and Constrains, 1990-2020. Energy Council Report, 1993.

(2) Martin A.Green, "Solar Energy Tables (version 7) ", Progress in Photovoltaics Research and Applications, 1996, Vol. 4 , Num. 1.

(3) Contribution of New and Renewable Sources of Energy Systems and to Specific Multi- Purpose Medium- to- Large Scale Applications, 1992.

ÖZGEÇMİŞ

1982'de Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümünden mezun olduktan sonra, 1983 de Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğu'ne girdim. 1983-1984 Tarihleri arasında Ankara Nükleer Araştırma Merkezi Laboraruvanında Metal/Yalıtkan /Yaniletken tipindeki güneş pillerinin üretimi ve karakterizasyonu konusunda çalışmalar yapmak üzere görevlendirildim. Bu çalışmada Türkiye'de ilk kez 2 Watt gücünde güneş pili imal edildi.

1986 'da Hacettepe Üniv. Fizik Müh. Bölümünde, güneş pillerinin temel maddesi olan "Hidrojenlendirilmiş Amorf Silisyum Filimlerinin Hazırlanması ve Karakterizasyonu" konusunda master yaptım. Bu çalışmaların paralelinde EİE'de güneş Pilleri ile çalışan su pompalama, trafik ikaz lambası, mobil sistemler, bir evin elektrikle çalışan cihazların güneş enerjisinden faydalanarak çalıştırılması ve sistemlerin kurulması, işletilmesi, ekonomik analizlerinin yapılması projelerinde çalıştım. Halen, elektrik şebekesine bağlı güneş pili sistemleri üzerine çalışmalarımız devam etmektedir.

JEOTERMAL ENERJİ , DÜNYA VE TÜRKİYE POTANSİYELİ VE KULLANIMLAR

Zeynel DEMİREL MTA Genel Müdürlüğü, Ankara

Hafize SÜZÜK MTA Genel Müdürlüğü, Ankara

ÖZET

Jeotermal enerji yerküre içindeki içsel enerjinin bir sonucu olup, dünya ve ülkemiz için alternatif enerji kaynaklarından birisidir. Jeotermal enerjinin başta kaplıca turizmi olmak üzere çok çeşitli kullanım alanları vardır.

Günümüzde jeotermal enerjinin en önemli kullanım alanı elektrik üretimidir. 18 ülkede jeotermal enerjiden elektrik üretimi yapılmaktadır. Dünyanın jeotermal enerjiden üretilen toplam elektrik kurulu gücü 6300 Mwe dir.

Ülkemiz jeotermal enerji açısından zengin ülkeler arasında yer alır. Türkiye'de yaklaşık 600 adet sıcak su kaynağı vardır. Toplam potansiyel 31500 MWt dur. Ülkemizde jeotermal enerjiden daha çok balneolojik ve termal turizm amaçlı olarak yararlanılmaktadır.

GİRİŞ

Yerküredeki içsel ısının sonucu olarak ortaya çıkan jeotermal enerji kullanımı dünyada ve ülkemizde hızla artmaktadır. Ülkemiz için alternatif enerji kaynaklarından en önemlisi şüphesiz jeotermal enerjidir.

Jeotermal enerji kullanan ülkelerin yerküre üzerinde dağılımına bakıldığında lokalitelerinin tesadüfi olmadığı, bilinen bazı tektonik kuşaklar ve/veya aktif volkanik kuşaklar ile çok yakın ilişki içinde olduğu görülür. Ülkemiz de bu kuşaklardan biri üzerinde yer almakta ve jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyadaki zengin ülkeler arasında bulunmaktadır.

JEOTERMAL ENERJİ, JEOTERMAL ALANLAR VE YERYÜZÜNDE DAĞILIMLARI

Jeotermal enerji yerküre içindeki içsel enerjinin bir sonucudur. Yerin yüzeye yakın kısımlarında jeotermal enerji, geçirimli kanallarda ve gözenekli ortamlarda hidrolik konveksiyon ile kontrol edilir. Bunun sonucunda, jeotermal enerji yüzeye yakın derinliklerde sıcağı ve buhar olarak konsantre olur ve erişilebilecek derinliklerde hidrotermal sistemleri oluşturur.

Isı kaynağı yerkabuğı içine sokulmuş magmatik bir intrüzyon olup, 600-900°C sıcaklığa sahiptir ve genelde 7-15 km arası derinlikte yer alır.

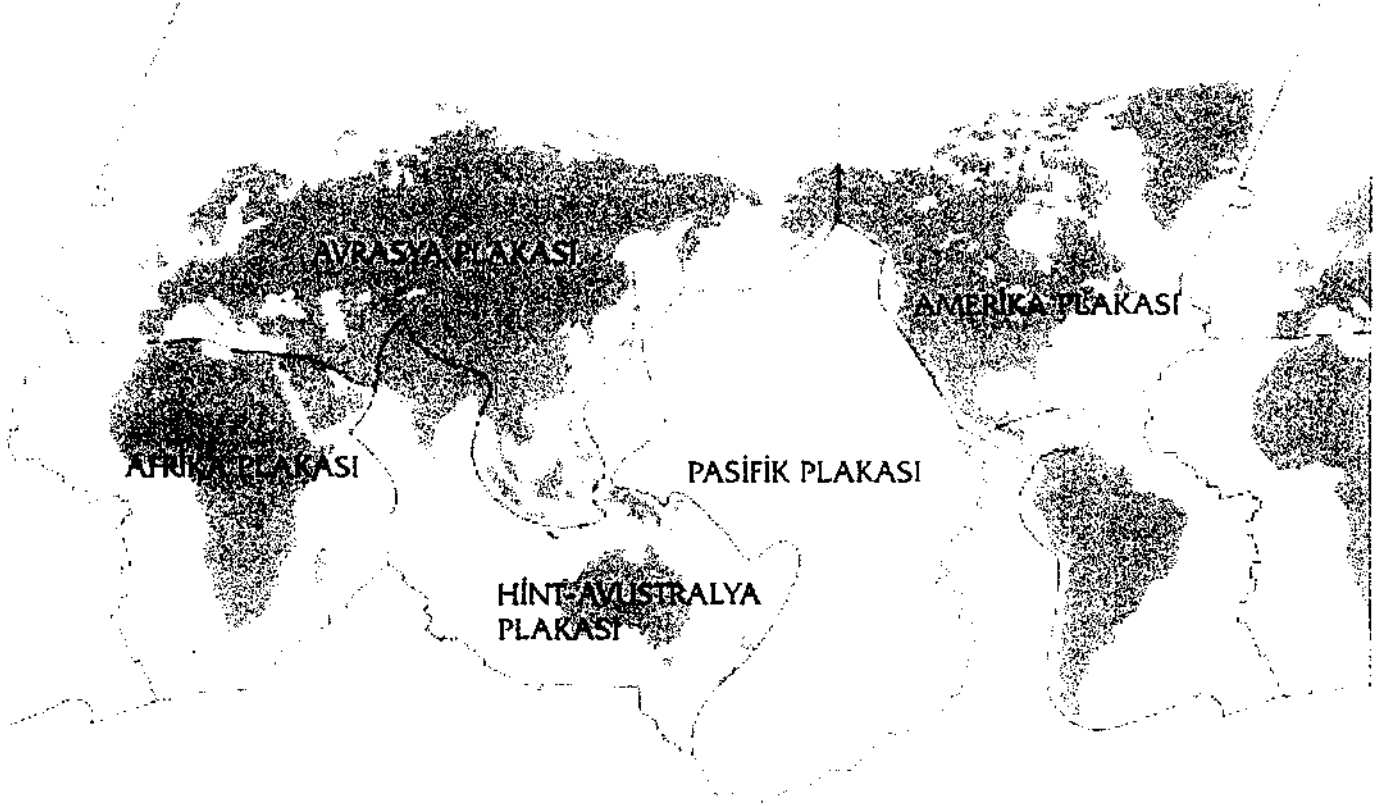
Kayaçların sıcaklıkları yeraltında, derinliğin artmasıyla, yükselir. Sıcaklığın bu artışıyla ilişkili olarak, kabuktaki kayaçlar yoluyla, büyük derinliklerden, yeryüzüne ısı nakli vardır. İki değişik ısı nakli mekanizması söz konusudur. Salt fiziksel ısı iletimi (konduksiyon), akışkan veya gaz haldeki maddelerin konvektif sirkülasyonu yoluyla (erimiş mineral veya gaz içeren su ve buhar) iletimi. Jeolojik olarak yaşlı levhaların civarlarında ısı akımı düşüktür. Buna karşın, aktif tektonik ve genç volkanizmaların görüldüğü sahalarda, ısı akımında anormal derecede yüksek bölgesel değerler ve yerel olarak uç değerler izlenir. Bu durum, özellikle büyük tektonik plakaların kenar zonları için geçerlidir.

Son on yılda ısı akımı için, özellikle derin deniz tabanlarındaki gözlemlerle binlerce ölçü değeri belirlenmiştir (CHAPMAN 1980, HAENEL 1979, CERMAK & RYBACH 1979, LACHENBRUCH & SASS 1978). Bu çalışmalarda; çok önceden beri bilinen, ısı akımı yoğunluğunun genç orojenik provenslerde en yüksek olduğu ve tektonik birimlerinin yaşlarının artmasıyla da ısı akımı yoğunluğunun azaldığı kuralı, onaylanmıştır. Yerkabuğunun içinden, yeryüzüne sürekli ısı akımının sebebi, yeraltındaki stabil olmayan mekanik koşullardır. Tektonik ve sismik sonuçları ile litosferdeki hareketler (plaka tektoniği), ısının mekanik enerjiye dönüşümünün göstergesidir. Yerin ısı içeriği de çok çarpıcıdır. Manto'nun 2000°C'lık ortalama ısı ve yerin merkezinin 3600°C'lık ortalama ısı için, yerkürenin ısı içeriği 10^{31} Joule olarak ortaya çıkar. Yerin derinliklerinden tükenmeyen ısı üretiminin sebebi hakkında henüz bir uzlaşma mevcut değildir. Bazı araştırmacılar, sürekli ısı üretiminin sebebinin yerin içinde uranyum, toryum, potasyum ve fosfatlar gibi radyoaktif materyellerin parçalanması olduğunu ileri sürerler, buna ek olarak sürtünme, mekanik basınç, çökme ve yükselmeler ile eriğik materyel akımından kaynaklanan ısı, sürekli ısı üretimine katkıda bulunur. Teorik hesaplamalara göre yerkabuğunun 0-10 km derinlikleri arasında birikmiş ısı enerjisi $426 \cdot 10^6$ EJ (exajoule) dır. Bu enerjinin % 0.1'inin işletilebileceği düşünüldüğünde bugünkü mevcut dünya tüketimine göre 1000 yıllık bir kaynak karşılığıdır. Günümüzde jeotermal enerji, dünya enerji sektörünün sadece % 0.2'lik bir kısmını kapsamakla beraber, dünyada termal rezervuarlardan üretilebilecek rezervin 50 EJ olduğu tahmin edilmektedir (Rebertsen Research Inst., 1988; Koçak, 1994).

Volkanlar, gayzerler, sıcağı kaynakları ve buhar fumerollerini yerkabuğunun altında

depolanmış büyük ısı rezervlerinin yüzeyde görülen delilleridir.

Yerkabuğu başlıca 6 büyük ve çok sayıda küçük plakadan oluşmuştur (Şekil 1). Bu plakalar relatif hareket halindedir. Plakaların temas yerlerinde ısı yerin derinliklerinden, magma kütleleri aracılığı ile yüzeye hızla nakledilirler. Yerkabuğunun derinliklerine doğru süzülen yeraltı suları magma ve sıcak kayalar tarafından ısıtılır ve konveksiyon akımları ile gayzer veya sıcak su kaynağı şeklinde yüzeye ulaşır.



Şekil 1: Yerkabuğunu oluşturan plakalar

Alternatif enerji kaynaklarından jeotermal enerjiden elektrik üretimi beklentileri tüm dünya ülkelerinde hızla artmaktadır. Jeotermal kaynaklardan elektrik üretiminde başta gelen ülkeler sırasıyla ABD, Filipinler ve Meksika'dır. Günümüzde 18 ülkede jeotermal enerji kullanılarak elektrik üretilmektedir. 1992 yılı verilerine göre dünyada toplam elektrik kurulu gücü 6300 MWe kadardır. Jeotermal elektrik santralleri, yerkürenin kazan olarak görev üstlendiği termik santrallerdir.

Levha tektoniği ilkelerinden de bilindiği gibi, levhalar hareket halindedirler, kırılıp birbirlerinden ayrılırlar ve çarpışırlar. Levha sınırları deprem kuşaklarını oluşturur ve yeryüzün-

deki jeotermal sahaların büyük bir kısmı bu kuşaklarda yer alır (Şekil 1). Kıtalar birbirlerine göre yanal hareket ederler, çarpışır ve uzaklaşırlar. Kıtaların bu hareketini sağlayan güç ısı enerjisidir.

Plaka tektoniği teorisinin esasında, yerin büyük plaka parçalarının (kabuğun dışında) hareket halinde oldukları, birbirinden uzaklaştıkları ve çarpıştıkları kabul edilir. Bu kıtaların kenarları deprem kuşaklarında tanımlanır ve dünyada bilinen jeotermal sahalar ile çok yakın ilişki içindedir.

Jeotermal aktivitenin çok geniş bir şekilde bulunduğu zon, Pasifik Okyanusu çevresindeki tektonik-volkanik zondur ve ateş çemberi olarak ta anılır (Grant, M. ve diğ., 1982). Bu kuşağın civarındaki sahalar Güney, Orta ve Kuzey Amerika'nın batısında, Alaska, İzlanda, Rusya, Japonya, Tayvan, Filipinler, Yeni Zelanda ve bazı Pasifik Adalarında yer alırlar.

Diğer önemli jeotermal kuşaklardan biri de Alp-Himalaya tektonik kuşağıdır ve bu kuşak üzerinde Endonezya, Tibet, İran, Türkiye, Yunanistan ve İtalya'daki jeotermal alanlar yer alır. Doğu Afrika'da Rift Vadisi de önemli jeotermal kuşaklardan bir diğeridir.

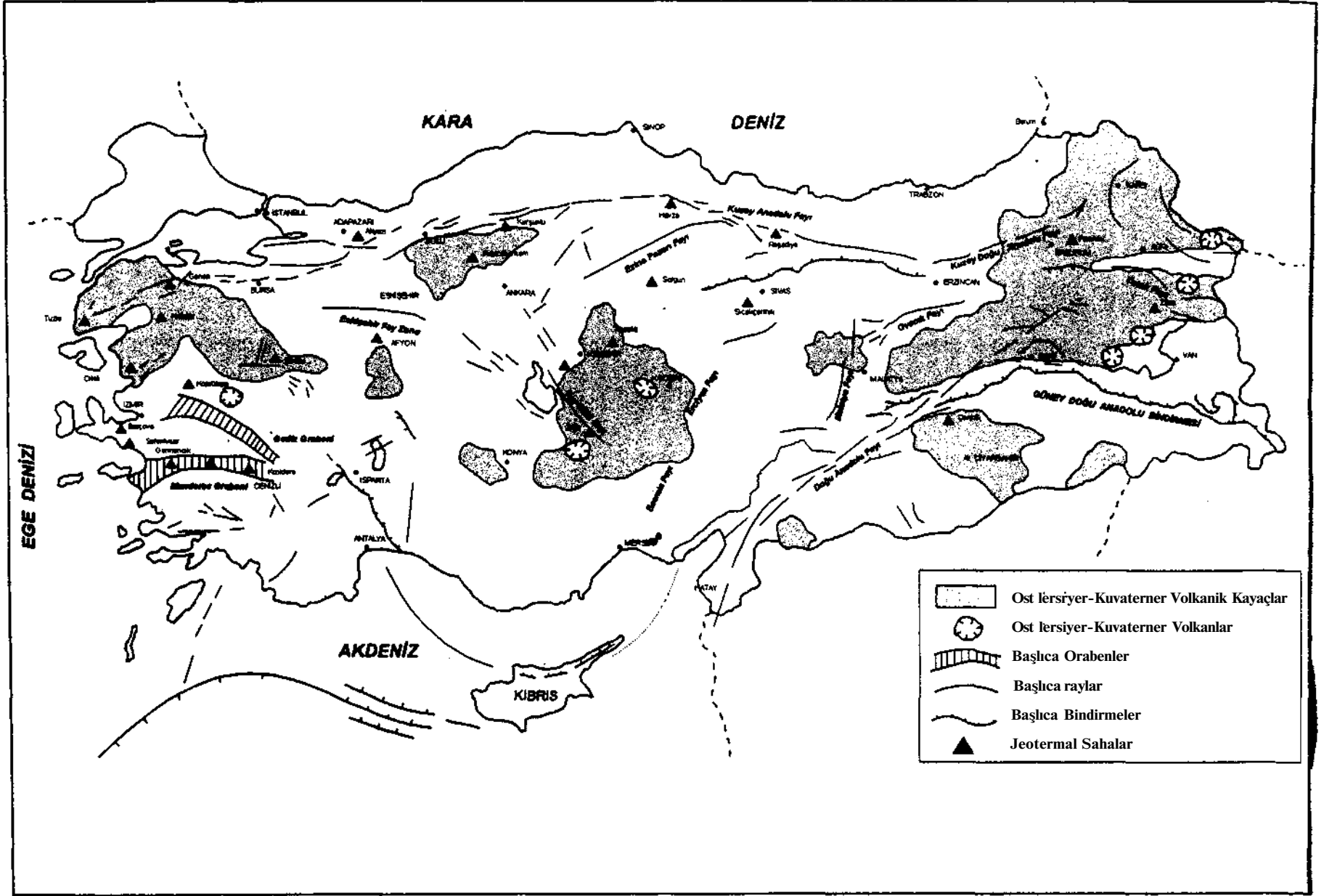
Daha önce de belirtildiği gibi okyanus ortası sırtları da jeotermal açıdan önemli kuşakları oluştururlar. Azores Atlantik Okyanusu sırtında yer alan ve önemli jeotermal potansiyele sahip ülkelerdir. İzlanda jeotermal aktivite ile plaka sınırlarının net olarak gözlendiği bir ülkedir. Bu ülkede yüksek sıcaklıklı jeotermal alanlar, Atlantik Okyanusu sırtının merkezine uyumlu olarak yer alan volkanik zon ile ilişkilidirler. Bu zondan uzaklaştığında rezervuar sıcaklıklarında düşüşler görülür.

Orta Amerikada, USA'nın güneybatısında yer alan jeotermal sahalar Pasifik Plakasının sınırlarıyla direk olarak ilişkilidirler, bu sınır tektonik olarak San Andreas fay zonu volkanik olarak ta St. Helen Dağları ile temsil edilir ve yüksek sıcaklıklı jeotermal çıkışları sonuçlandırmıştır.

TÜRKİYE'DE JEOTERMAL SAHALAR

Ülkemizde mevcut jeotermal sistemler neotektonik ile ilişkili olarak bulunmaktadır. Arap-Afrika kıtasal bloğu ile Avrasya bloğunun çarpışması sonucu oluşan Alp-Himalaya kuşağı jeotermal aktivite açısından da önemli bir kuşaktır ve ülkemiz de bu kuşak üzerinde bulunmaktadır. Türkiye'de kıta-kıta çarpışması sonucu manto materyeli

yükselmekte ve magmadan ısı transferi yoluyla ekonomik derinliklerde (2 km) jeotermal sistemler oluşmaktadır. Doğu Akdenizde, Avrasya ve Afrika plakaları arasındaki tektonik durum büyük oranda Anadolu ve Ege plakacıklarından tarafından belirlenir. Batı Anadolu Neojenden beri aktivitesini sürdüren yaygın tektonik olaylar dizisinin etkisi altındadır. Bu olaylar Ege kıyılarına yakın yerlerde D-B yönlü grabenleri oluşturmuştur. Etkin kuvvetler Anadolu plaka-



çıgının batıya hareketini sağlamakta ve Batı Anadolu'da genişleme rejiminin hüküm sürmesini sonuçlandırmaktadır. Batı Anadolu, Ege, Yunanistan, Makedonya'nın bir bölümü ve Bulgaristan ile birlikte Ege genişleme povensini oluşturur. Turtoniyum'da Büyük Menderes ve Gediz grabenleri oluşmuştur (Şengör ve diğ., 1982). Bu bölge çok sayıda graben sistemi, yoğun magmatizma ve kısmen de olsa büyük blok rotasyonlarıyla belirgindir. Batı Anadolu'da ve Ege adalarında kalkalkalinden alkaline kadar değişen Miyosen-Pliyosen yaşlı volkanik etkinliklere rastlanır. Bu bölgede yer alan graben zonları volkanizma ile de ilişkili olarak aktif jeotermal sistemlere sahiptirler. Turtoniyum'dan beri Batı Anadolu'da etkili olan genişleme tektoniği kıtasal kabuğu oldukça derinlere kadar etkilemiş ve yükselen manto materyelinin kabuk içine sokularak burada hibrid magma oluşumunu sonuçlandırmıştır. Bu olaylar Batı Anadolu'daki kalkalkalen volkanizmanın başlangıcı (Ercan, 1980) ve termal sular için ısı kaynağı görevini üstlenmişlerdir.

Doğu Anadolu'da ise sıkışma tektoniğine bağlı olarak gelişen, derinlere kadar etkili doğrultu atımlı faylanmalara bağlı, çek-ayır havzalar, açılma çatlakları ve dağ arası vadiler ile genç volkanizma Batı Anadolu'da olduğu kadar yüksek sıcaklıklı olmasa da jeotermal çıkışları sonuçlandırmıştır. Atlantik Okyanusu ve Kızıldenizdeki açılmanın sonucu Arap levhasının kuzeye doğru hareketi ve buna bağlı kıta-kıta çarpışması günümüzde de aktivitesini sürdürmekte ve neotektonik süreçler altında gelişen aktif faylar (Şekil 2) jeotermal enerji açısından da önem kazanmaktadır. Bu fayların en önemlisi ülkeyi doğu batı yönünde kateden yaklaşık 2000 km uzunluktaki sağ yanal atımlı Kuzey Anadolu Fayıdır. Kuzey Anadolu Fayı da ülkemizde jeotermal enerji açısından önemli bir kuşaktır ve çok sayıda özellikle merkezi sistem ısıtmacılık için uygun jeotermal saha bu zon üzerinde yer almaktadır (Kuzuluk, Bolu, Çankırı, Havza, Reşadiye ve Erzincan gibi). Orta Anadolu'da gelişen jeotermal sistemlerde ise ova rejimine özgü karmaşık tektonik olayların yanı sıra milyonlarca yıl önce başlayan ve tarihsel zamanlara kadar devam eden volkanik aktivite jeotermal sistemlerin gelişmesinde etkili olmuştur.

DÜNYA JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ VE TÜRKİYE'NİN YERİ

Jeotermal enerjiden elektrik üretimi ilk kez 1904 yılında İtalya Larderello'da 0.5 kW gücünde bir pilot ünitenin devreye girmesiyle başlamıştır. Bugün için 20'ye yakın ülkede jeotermal enerjiden yararlanılarak elektrik üretilmektedir. Kurulu güç bakımından USA ilk sırayı almakta ve dünya üzerinde buldukları kuşaklara göre potansiyel bakımından zengin ülkelerden Filipinler, Meksika bu ülkeyi takip ederler. Konut ısıtılması ise 1930'lu yıllarda İzlanda'nın Reykjavik kentinin ısıtılmasıyla başlamıştır. Isıtma, jeotermal akışkanın en yaygın kullanım alanlarından birisidir. Endüstriyel kullanımlar toplam kullanımın % 9'u kadardır. Jeotermal enerjiden endüstriyel kullanım şeklinde yararlanan ülkelerin başında Yeni Zelanda ve İz-

landa gelir. Termal amaçlı kullanımın % 12'lik bir bölümü ise balıkçılık ve hayvancılık alanlarındadır.

Jeotermal enerjinin dünya çapında elektrik ve elektrik dışı kullanımlarında son durum 1985-1990 yıllarında yapılan çalışmaların sonucu olarak, 1995 yılında Dünya Jeotermal Kongresinde sunulmuştur, ülke bazındaki kullanımlar tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'de de görü-

Tablo 1: Jeotermal enerjiden yararlanan ülkelerin toplam kurulu güçleri

ÜLKE	TERMAL KURULU GÜÇ(MWt)	TERMAL ENERJİ KULLANIMI (TJ/yıl)	ELEKTRİK KURULU GÜÇ (MWe)
Cezayir	100	1657	
Ariantin			0.67
Avusturya	21.1	200	0.17
Belçika	3.9	101	
Bulaaristan	133.1	778.5	
Kanada	1.68	47	
Çin	1915	16981	28.78
Danimarka	3.5	45	
Fiji			
Fransa	599	7350	4.2
Almanya	32	303	
Gürcistan	245	7685	
Yunanistan	22.6	135	2
Guatemala	2.64	83	24
Macaristan	340	5861	
İzlanda	1433	21158	49.4
İsrail	44.2	1196	
İtalya	307	3629	631.7
JaDonva	319	6942	413.7
Makedonva	69.5	509.6	
Yeni Zelanda	264	6614	286
Polonya	63	740	
Romanya	137	2753	
Rusya	210	2422	11
Sırbistan	80	2375	
Slovakya	99.7	1808	
Slovenya	37	761	
İsviçre	47	960	
İsviçre	110	3470	
Türkiye	140	1987	20.4
Kosta Rika			55
El Salvador			105
Endonezya			309.75
Kenya			45
Meksika			753
Nikaragua			35
Filipinler			1227
Portekiz (Azores)			5
Tayland			0.3
Amerika Birleşik D.	1874	13890	2816.7

leceği üzere dünyada termal amaçlı toplam kurulu güç 1990 yılında 8064 Mwt'den 1995 yılında 8664 Mwt değerine yükselmiştir. Toplam enerji kullanımı ise 1990 yılında 98464 TJ/yıl değerinden 1995 yılında 112441 TJ/yıl değerine yükselmiştir.

Türkiye de üzerinde bulunduğu kuşak nedeniyle jeotermal potansiyel bakımından zengin ülkeler arasında yer alır ve jeolojik potansiyel 31500 Mwt olarak tahmin edilmektedir.

Ülkemizde jeotermal kaynaklardan büyük oranda balneolojik amaçlı ve termal turizmde yararlanılmaktadır. Enerji amaçlı kullanımda ise en yaygın olanı kür merkezlerinin ısıtılmasıdır.

Gönen (20 Mwt), Simav (33 Mwt), Kırşehir (19 Mwt), Kızılcahamam (17 Mwt), İzmir-Balçova (toplam 125 Mwt), Afyon (toplam 50 Mwt civarında) ve Kozaklı (yaklaşık 10

Mwt) şehirlerimizde merkezi sistem konut ısıtması yapılmaktadır. Şekil 3'de görüldüğü gibi birçok yerleşim merkezlerinde de merkezi sistem ısıtma için inşaatlar devam etmektedir ve çok sayıda jeotermal alan için ön fizibilite raporları hazırlanmıştır.

Türkiye'de az sayıda da olsa yüksek entalpili jeotermal alanlar da keşfedilmiştir, ancak ülkemizde jeotermale dayalı elektrik üretimi düşük seviyede kalmıştır. Yapılan kaba bir değerlendirmede özellikle Batı Anadolu'da yeralan bazı sahalarda jeotermale dayalı toplam 350 Mwe kurulu güce sahip santrallerin kurulabileceği belirlenmiştir. Bu yüksek potansiyele karşın bugün için sadece Denizli-Kızıldere jeotermal alanında 1984 yılında 20.4 Mwe gücünde bir santrale sahip bulunmaktayız. İlkemizde en yüksek rezervuar sıcaklığına sahip Aydın-Germencik'te (232 °C) ise aşamalı olarak yaklaşık 100 Mwe gücüne ulaşacak portable üniteler için Yap-İşlet modeline göre işlemler sürdürülmektedir.

Balneolojik amaçlı kullanımlar için sıcaklık alt sınırı 20 °C olarak kabul edilmekte olup 600 kaynak grubuyla ülkemiz Avrupa'da birinci sırayı almaktadır. Isı enerjisi olarak yararlanma için 35 °C sınırın kabul edildiğinde ise karşımıza 140 adet jeotermal alan çıkmaktadır (Şekil 4). Sadece kaynakların boşalımları değerlendirildiğinde potansiyel 600 Mwt civarındadır. MTA Genel Müdürlüğü açtığı 150 kadar jeotermal amaçlı sondaj ile bu potansiyele yaklaşık 1400 Mwt katkı sağlamıştır (Şekil 5). Isıtma amaçlı kullanım için ispatlanan ve kullanıma sunulan bu büyük potansiyele rağmen ısıtma amaçlı sistemlerin kurulu gücü sadece 248 Mwt kadardır. Potansiyelden yeterince yararlanılmamasının nedenleri başlıca finansal kaynak bulunamayışı ve jeotermal yasanın olmamasıdır.

KAYNAKLAR

- (1) HUTRER, G.W. (1996); Direct uses of geothermal energy 1995, Geothermics, Vol.25, Nr. 2, Pergamon, italya
- (2) GÖZLER, Z. (1994); Türkiye'nin jeolojisi ve önemli maden yatakları, Türkçe Konuşan İlkeler 1. Yerbilimleri ve Madencilik Konferansı, İlke Raporları, MTA, Ankara
- (3) KOÇAK, A. (1994); Jeotermal Enerji, Türkiye Enerji Bülteni, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Cilt 1, Sayı 1, Ankara
- (4) LEFFEL, C.S. & EISENBERG, R.A. (1977); Geothermal Handbook, The John Hopkins University applied physics laboratory, Laurel, Maryland
- (5) (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES LTD (1993); Geothermal Power Generation, Nagasaki, Japonya

ÖZGEÇMİŞ

Zeynel DEMİREL

1955 yılında Mardin'de doğdu. 1977 yılında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünden jeoloji yüksek mühendisi olarak mezun oldu. 1984 yılında Die Friedrich Alexander Universität 'de doktora öğrenimini tamamladı. 1977 yılında MTA Genel Müdürlüğü'nde jeoloji mühendisi olarak göreve başladı. Halen aynı kuruluşta göreve devam etmektedir. 1995 yılından beri Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümünde ders vermektedir. İyi derecede Almanca, orta derecede İngilizce biliyor.

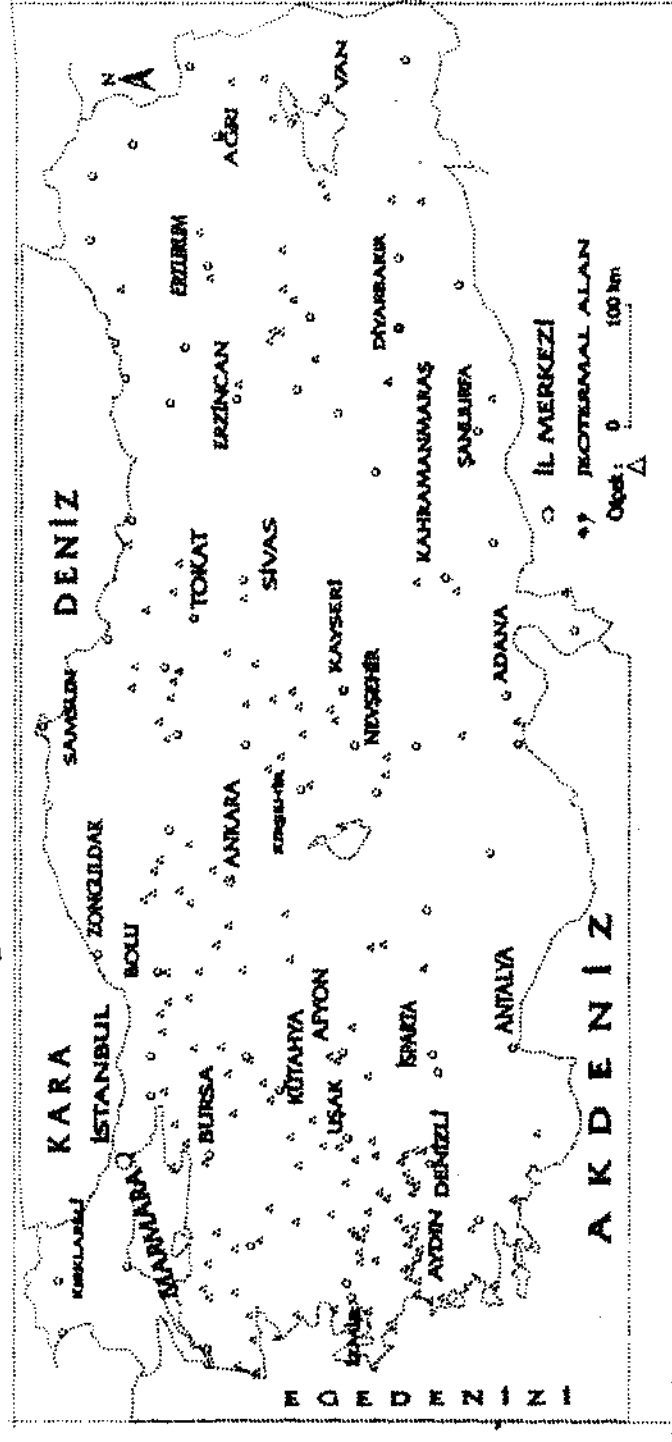
Hafize SÜZÜK

1971 yılında Denizli'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Erzurum'da, lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. 1991 yılında Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 1993 yılında aynı üniversitede yüksek lisans öğrenimini tamamladı. Aynı üniversitede doktora çalışmalarına sürdürmektedir. 1991 yılında MTA Genel Müdürlüğünde göreve başladı. Aynı kuruluşta göreve devam etmektedir. Orta derecede İngilizce biliyor.

TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ENERJİ KULLANIMI

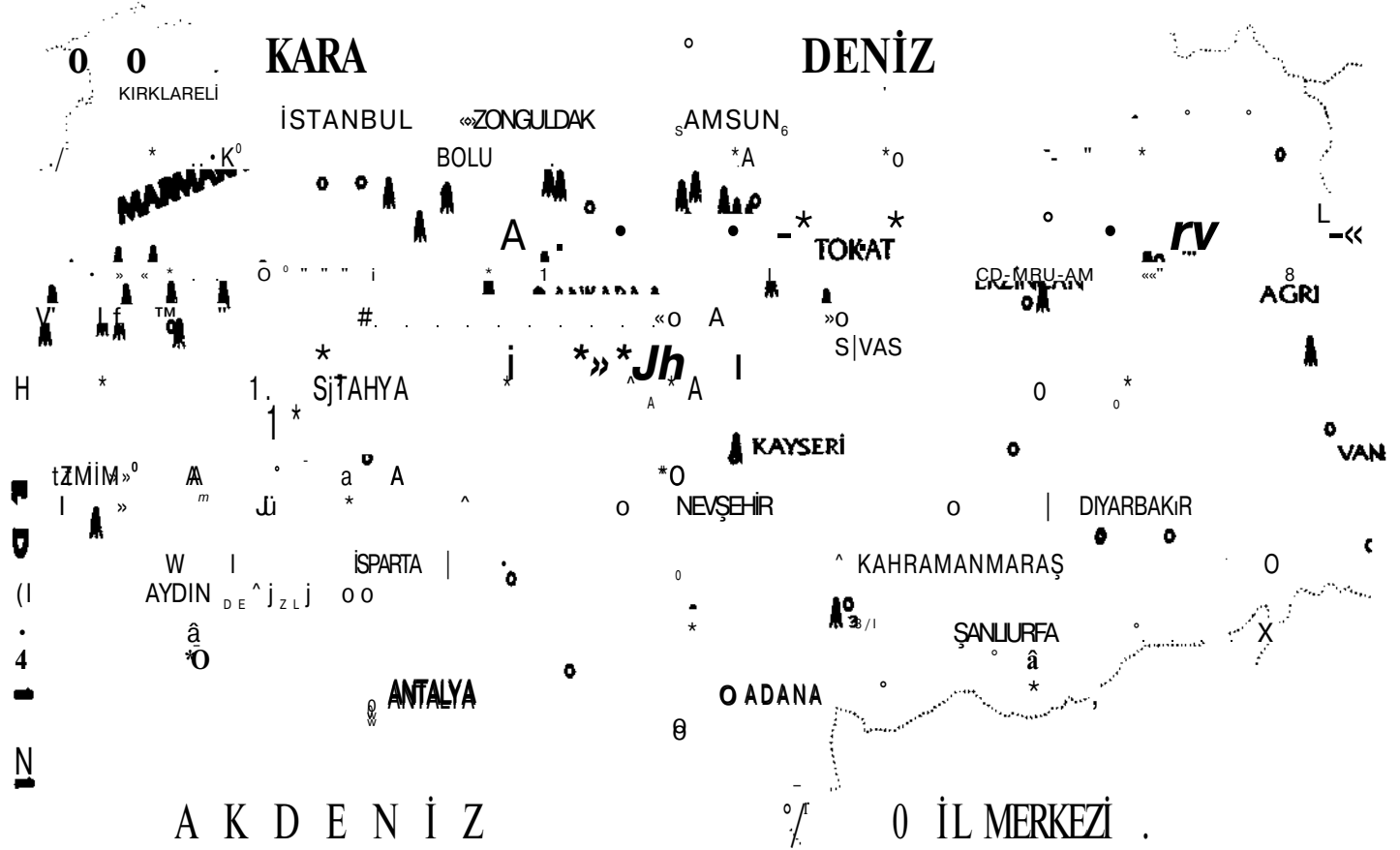


TÜRKİYE JEOTERMAL ALANLARI



Şekil 4 : Türkiye'de jeotermal kaynakların dağılımı

MTA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ TARAFINDAN AÇILAN JEOTERMAL AMAÇLI KUYULAR



0 İL MERKEZİ .

A JEOTERMAL KUYU

HİDROJENİN YAKIT OLARAK KULLANIMI VE ÖZELLİKLERİ

Prof. Dr. Mustafa ÖZCAN ÜLTANIR¹

Ankara Üniversitesi Enerji Çalışma Grubu Başkanı, ANKARA

ÖZET

20. yüzyılda artan biçimde fosil yakıt üretimi ve tüketimi uzun dönemde tersinmez değişiklikler oluşturmuştur. Bu nedenle dünya global sıcaklığının artıyor olması, en önemli çevre sorunudur. Çevre kalitesinin ön plana geçtiği yeni dönemin çevre dostu yakıtı olarak hidrojen seçilmiştir. Doğal yakıt rezervlerinin 21. yüzyılın kümülatif enerji tüketimi için yetersizliği karşısında ortaya konulabilen seçeneklerde arasındaki en güçlü yakıt da yine hidrojen dir.

Enerji taşıyıcısı olan hidrojenin fosil ve nükleer yakıtlar dışındaki olanaklarla, özellikle yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak sudan üretimi üzerinde durulmaktadır. Hidrojen tüplenmiş alçak veya yüksek basınçlı gaz, sıvı ve metal hidrid paketi biçiminde kullanıma sunulabilmektedir. Gaz hidrojen boru hatlarıyla taşınabildiği gibi, sıvılaştırılmış biçimde tankerlerle de taşınabilmektedir. Sıvı hidrojenin birim kütle sinin ısı değeri petrolden 3.2 kat yüksektir. Devitim faktörü hidrojen de 1 iken, diğer yakıtlarda 0.23-0.78, emniyet faktörü hidrojen den yine 1, ama öteki yakıtlarda 0.53-0.80 arasındadır.

Hidrojen alevli yanmaya olduğu kadar katalitik yanmaya, direkt buhar üretimine, kimyasal dönüşüme ve yakıt hücreleri ile elektro - kimyasal çevrime uygun bir yakıttır, hidrojen diğer tüm otomotiv yakıtlarında üstün özellikler taşımaktadır. Endüstriden ulaştırmaya, konutlardan kırsal alana dek çeşitli yerlerde hidrojen kullanım teknolojileri geliştirilmiş, hidrojenin kullanımına ilişkin ISO standartları hazırlanmıştır. 2010 yılına kadar yakıt hidrojenin ticari kullanımının başlaması ve beklenmektedir.

Türkiye'de hidrojen teknolojisi ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmalarına girilmekte geç kalınmış olmakla birlikte, UNIDO desteği ile hidrojen Enstitüsü kurulması girişimi vardır.

Anahtar kelimeler : Hidrojen Enerjisi Taşıyıcısı, Temiz Yakıt.

1 : Yazar : Ankara Üniversitesi Rektörlüğü Adına Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (WEC-TNC) Yönetim Kurulu Üyesi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Yüksek Danışma Kurulu Başkan Yardımcısı, Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu (ISES) Türkiye Bölümü (UGET-TB) Başkan Yardımcısı, Temiz Enerji Vakfı (TÜBİTAK) Yönetim Kurulu Üyesi, Türk Isı Bilimi ve Tekniği Derneği Başkan Yardımcısı, Uluslararası Hidrojen Enerjisi Birliği (HEA) Onursal Üyesi.

1. GİRİŞ

Son tüketiciye enerji "yakıt" ve/veya "elektrik" biçiminde sunulmaktadır. İkincil enerji olan elektriğin pekçok kullanım avantajının bulunmasına karşın, teknoloji yalnız elektriğe bağlı olarak değil, yakıtı da gerektiren biçimde gelişme göstermiştir. Bunun nedeni genel enerji tüketimi son biçiminin %60 oranında ısıya dayalı olmasıdır. Özellikle ulaştırma sektöründe ve stasyonier kuvvet makinalarında yakıt gereksinim vardır, bugüne kadar yakıt istemi fosil yakıtlar ve onların türevleri ile karşılanmıştır.

Doğadaki ana enerji kaynakları birincil enerji kaynaklarıdır. Birincil kaynakların fiziksel durumu farklı olacak biçimde dönüştürülmesi (transformation) ile elde olunan ikincil enerjilere, enerji taşıyıcısı denilir. Elektrik yüzyılı aşkın süredir kullanılan bir enerji taşıyıcısıdır. Bugüne kadar kullanılan yakıtlar ise ya doğal yapılı ya da bunların fiziksel durumları sabit kalarak değiştirilmesi (conversion) ile elde edilmiş ürünlerdir. Hidrojen birincil enerji kaynakları ile değişik hammaddelerden üretilebilmekte ve üretiminde dönüştürme işlemi yer almaktadır. Bu nedenle, elektrikden bir yüzyıl sonra teknolojinin geliştirdiği yeni enerji taşıyıcısıdır. Hidrojen yakıtı veya enerjisi teknolojisi; hidrojenin üretim teknolojisi, hidrojenin taşınması ve depolanması teknolojisi, hidrojen kullanım teknolojisi alt bölümlerine ayrılmaktadır. Bu alt bölümlerin tümünde önemli gelişmeler sağlanmış olup, hemen uygulanabilir teknoloji birikimi bulunmaktadır. Uygulamaların hızla yaygınlaştırılmasının önündeki engeller, ekonomik faktörler ve mevcut enerji sistemleri ile konvansiyonel motorların demodeleşmesinin getirebileceği stratejik sakıncalardır.

Kullanımı ilk sıralarda yer alan petrol ve doğal gazın sınırlı sunumuna karşın, hidrojen bol bulunan su içinde yer alan bir maddedir ve yerli enerji kaynakları ile üretimi olanaklıdır. Çeşitli yakıtların yerini kolaylıkla alabilecek karakterdedir. Başlıca yanma ürünü kirletici değildir. Projelenen üretim maliyetleri 10-15 yıllık süreçte fosil yakıtlarla kolayca rekabet edeceğini göstermektedir. Birincil kaynakların en verimli biçimde değerlendirilmesine olanak tanıyan bir enerji taşıyıcısıdır. Örneğin:

1 ton kömür - benzine dönüştürme - otobüs çalıştırma, 708 km

1 ton kömür - elektriğe dönüştürme - otobüs çalıştırma, 772 km

1 ton kömür - hidrojene dönüştürme - otobüs çalıştırma, 1030 km

Hidrojen aynı zamanda birincil kaynaklardan elde olunacak enerjinin depolanması için de bir araçtır.

Endüstri devrimi ile 1750 yılından bu yana, teknik yeniliklere dayalı olarak dünya genelinde ekonominin gelişmesi peşpeşe beş ayrı dalgalanma biçiminde sürmüştür. 1750-1825 yılları arasındaki birinci dalgalanmanın başat enerji kaynağı kömürdür. 1825-1860 arasındaki ikinci dalgalanmada elektrik yer almıştır. 1860-1910 yılları arasındaki üçüncü dalgalanmada elektrik etkisini sürdürmüştür, ama yeni kaynak olarak petrol ortaya çıkmıştır. 1910-1970 arasın-

daki dördüncü dalgalanmada yeni enerji kaynağı nükleer enerji olmuştur. Şimdi 1970'lerde başlayan 21. yüzyılın neresinde biteceği henüz bilinmeyen yeni bir dalgalanma içindeyiz. Bu yeni dalgalanmayı etkileyen enerji kaynakları güneş enerjisi ve hidrojen yakıtı olarak sıralanmaktadır.

2. Hidrojeni Gerektiren Nedenler:

1900 yılında nüfusu 1.6 milyar olan dünyanın genel enerji tüketimi 50 EJ düzeylerinde iken, 1995 yılında nüfus 6 milyara, genel enerji tüketimi 400 EJ düzeyine ulaşmış bulunmaktadır². Yüzyılımız dünya enerji tüketiminde 8 katı aşkın bir artışla tamamlanacaktır. 20. yüzyılın son üç çeyreğinde genel enerji tüketiminde fosil yakıtların payı % 80-90'lık ağırlığını korumuş, değişen yalnızca fosil yakıtların tüketim bileşimi olmuştur. 1925 yılında fosil yakıt tüketiminin % 80'i kömürden sağlanırken, 70 yıl sonrasında fosil yakıt tüketiminin % 45'i petrol, % 25'i doğal gaz ve % 30'u kömürden sağlanmıştır.

Dünyanın enerji tüketimindeki artışın dinginliğe ulaşması beklenemez. Dünya Enerji Konseyi (WEC) nin 1995 tarihli "Global Enerji Perspektifleri" başlıklı raporunda dünya nüfusunun 2050 yılında 10.1 milyar ve 2100 yılında 11.7 milyar olacağı varsayılarak, tasarlanan üç değişik senaryoya göre, dünyanın yıllık genel enerji istemi 2050 yılında 610 -1100 EJ ve 2100 yılında da 925 - 1980 EJ arasındaki bir düzeye çıkacaktır. 2000 - 2100 döneminde dünyanın kümülatif enerji tüketiminin en az 82 500 EJ olabileceği hesaplanmıştır. Bugün için bilinen çıkarılabilir fosil yakıt rezervi ise 31 100 EJ düzeyinde bulunmaktadır. Kuşkusuz yeni bulunacak rezervler ve üretim teknolojilerindeki gelişmelerle çıkarılabilir toplam rezervde artışlar olacaktır, ama dünya petrol yataklarına 40, doğal gaz yataklarına 60 ve kömür yataklarına ise 250 yıldan fazla ömür biçilememektedir.

Kullanımı arzulanan akışkan (gaz ve sıvı) yakıtlar olmasına karşın, doğal akışkan yakıtların (petrol ve doğal gaz rezervlerinin) ömürleri ortalama insan ömrünün altına düşmüş durumdadır. Bu yakıtlardaki üretimin 2010 yıllarındaki tepe noktasından sonra sürekli düşmesi kaçınılmaz görünmektedir. Bu nedenle yeni bir akışkan sentetik yakıt gereksinim vardır, bu yakıt hidrojenidir.

Fosil yakıt rezerv sorunu olmadığı varsayılsa bile, fosil yakıt tüketiminin 20. yüzyıl artış eğimi ile sürmesi olanaklı değildir. Isıtmadan içten yanmalı motorlara ve termik santrallara dek çeşitli yerlerde kullanılan fosil yakıtlarda depolanmış kimyasal enerji, yanma teknolojisi ile açığa çıkmaktadır. Yanma sırasında çevreye kirletici emisyonlar yayılmaktadır. 1995 yılında dünyada 9.33x10⁹ ton fosil yakıt yakılmıştır. Yanma sonucu ortaya çıkan sera gazları, asit yağmuru bileşenleri ve toksik kimyasallardan oluşan kirleticilerin toplam miktarı 29.3 x10⁹ ton/yıl kadardır. Miami Temiz Enerji Araştırma Enstitüsü (Clean Energy Research Ins-

² 1EJ (eksa Joule) = 10⁹GJ = 22.7x10⁶ TEP(ton eşdeğer petrol)

titute) tarafından yapılan çalışma bu emisyonların verdiği çevresel zararın dünya genelinde 2 700 milyar \$ ile dünya brüt gelirinin % 14'ü düzeyinde olduğunu göstermiştir.

Yanma emisyonları içerisinde yer alan sera gazlarının başlıcası CO₂ dir. Dünya global sıcaklığının yükselmesine neden olan bu sera gazının atmosferdeki konsantrasyonunun azaltılması için karbon vergisi uygulanması uluslararası gündemdedir. Fosil yakıt kullanımında GJ başına ortalama CO₂ emisyonu kömürde 85.5 kg, petrolde 69.4 kg ve doğal gazda 52.0 kg düzeylerindedir. 1957-1977 döneminde kullanılan fosil yakıtlarla 60 gigaton CO₂ üretilmiştir. Bu üretim son dönemde yılda 6.1 gigaton dolaylarında sürmektedir. Tüm teknik önlemlere ve uluslararası olası yasal engellere karşın, 2020 yılında bu emisyonun yıllık olarak 8.4 gigatona ulaşması beklenmektedir. Bilimsel irdelemeler atmosferdeki CO₂ in okyanuslar tarafından soğurulamayacağını, bitkilerce tutulamayacağını göstermiştir.

İnsanlığın önündeki en büyük çevre sorunu, atmosferdeki sera gazı CO₂ 'in ısı tuzağı oluşturmasından ve artan konsantrasyonu ile etkisinin giderek artmasından kaynaklanmaktadır. Atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu;

1850 yılında 275 ppmv (kestirim)

1958 yılında 315 ppmv

1989 yılında 347 ppmv

1995 yılında 360 ppmv

düzeylerinde artış göstermiştir.

Dünya ortalama sıcaklığındaki artış ile atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu arasında matematiksel olarak formüle edilen ilişki vardır. Atmosferin emissif gücü sıcaklığının (T_g) fonksiyonu olduğu gibi, dünya ortalama sıcaklığının da fonksiyonudur. Ayrıca, gaz kütlesinin emissivitesi, radyasyonun bu kütle içinde aldığı yola, gazın sıcaklığına ve basıncına bağlıdır. Ortalama radyasyon yol boyu (L) ve CO₂ in kısmi basıncı (p_c) gaz kütlesinin emissivitesini belirlemekte;

$$e_g = f(p_c \cdot L, T_g)$$

buna göre oluşan atmosfer transmissivitesi;

$$\tau = 1 - \tau_g$$

dünya ortalama sıcaklığını etkilemektedir. Böylece, kısa dalgalı güneş radyasyonunun yeryüzüne ulaşmasına bir engel oluşturmayan CO₂, yeryüzünden yayılan uzun dalgalı radyasyonu soğurarak atmosfer dışına salınmasını engellemektedir. Sera etkisi denilen bu etki ile dünya ortalama sıcaklığı sürekli artmaktadır. Aşın fosil yakıt kullanımının getirdiği olgu global ısınma süreci olmuştur.

Dünya atmosferinin enerji dengesi açısından, dışarıdan gelen 100 birim kısa dalgalı radyasyona karşın, 98 birim uzun dalgalı radyasyon yayılması gerekmekte olup, denge koşulun-

da dünyanın birim alanından yayılacak radyasyon 343 W/m^2 bulunmaktadır. Bu koşulda, Stefan-Boltzman yasası uyarınca dünya ortalama yüzey sıcaklığı 279 K düzeyindedir. Ancak, denge koşulunda bile dünyada üretilen enerji dünya ortalama yüzey sıcaklığının artmasına neden olmaktadır. Denge koşulunda dünya yüzey sıcaklığının artışı:

$$\Delta T_H \cong \frac{T}{4} - \frac{H}{343}$$

Burada; $T_H = (T_H - T)$ sıcaklık artışı ($^{\circ}$), T dünya ortalama yüzey sıcaklığı (279 K), T_H eklenen H ısı ile oluşan yeni sıcaklık (K), H dünyanın birim alanı başına birim zamanda yapılan enerji üretimi ($\text{J/m}^2, \text{s}$) büyüklüklerini göstermektedir. 1995 yılında dünyanın toplam fosil yakıt üretimi 337.5 EJ olup, buna göre $H = 21.01 \times 10^{13} \text{ J/m}^2.\text{s}$ kadardır. Dolayısıyla ($\Delta T_H = 0.0043^{\circ}$ bulunmaktadır. Oysa aynı değer 1970 yılı için 0.002° idi. Denge koşulunda bulunan bu yıllık sıcaklık artışı, kümülatif olarak büyümekte, denge bozulması nedeni ile yukarıda hesaplanan değer üzerinde gerçekleşmektedir.

Çok duyarlı ve kararlı bir dengede bulunması gereken dünya ortalama sıcaklığının, 1860 yılından bu yana 0.7 derecelik artış gösterdiği belirlenmiştir. Fosil yakıt tüketimi böyle sürer olursa, CO_2 'in ek etkisi ile dünya ortalama sıcaklığındaki artışın 2025 yılında 1.25 , 2050 yılında 2.2 , 2075 yılında 3.5 ve 2100 yılında 5.4 derece olabileceği hesaplanmaktadır. Eğer 2050 yılının enerji tüketimi 1000 EJ düzeyine sığarsa, bu istemin fosil yakıtlarla karşılanması koşulunda, dünya ortalama sıcaklığındaki artışın $3-5$ derece arasında olacağı da savlanmaktadır. İlk bakışta küçük gibi görünebilen bu sıcaklık artışlarının olası etkileri, ne yazık ki küçük olmayıp, dünyadaki yaşamı alt üst edebilecek kadar büyüktür. Çünkü her bir derecelik artış, kuzey ve güney yarım kürede iklim kuşaklarına 160 km 'lik yer değiştirtebilecek, 5 derecelik artış ise kutuplardaki buz erimeleri sonucu denizlerin 1 m den daha çok yükselmesine, pek çok yerin sular altında kalmasına, göllerin kurummasına, tarımsal kuraklığa ve toprak erozyonuna neden olabilecektir. Bu doğal afetlerin önüne geçmek için sürdürülebilir, yani ekolojik denge ile uyumlu temiz yakıt gereksinim vardır. O yakıt, bir başka alternatifi olmayan hidrojen dir.

3. Hidrojen Üretimi ve Depolanması:

Hidrojen bir doğal yakıt olmayıp, birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak değişik hammaddelerden üretilen bir sentetik yakıttır. Hidrojen üretiminde tüm enerji kaynakları kullanılabilir. Kullanılan hammaddeler ise su, fosil yakıtlar ve biyokütle materyaldir.

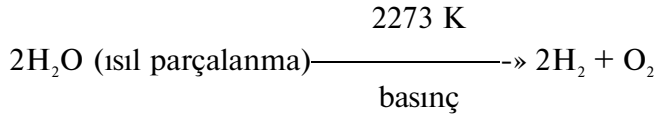
Bugün dünyada teknolojik gereksinimlerle yılda 500-600x10⁹ m³ hidrojen fosil yakıtlardan üretilerek kullanılmaktadır. Ancak, yakıt hidrojenin temelde sudan yenilenebilir enerjilerle üretilmesi ana ilkedir. Hidrojen üretim teknikleri aşağıda sıralanarak kısaca tanıtılmıştır.

Hidrojen suyun direkt elektrolizi ile üretilir:

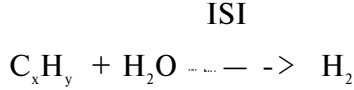


Elektroliz için elektrik gereksinimi fosil yakıtlardan, hidroelektrik güçten, nükleer enerjide jeotermal güçten, güneş, rüzgar ve deniz dalgaları enerjilerinden elde olunabilir. Gelecek için üzerinde en çok durulan yöntem fotovoltaiik güneş üreteçlerinin kullanılmasıdır.

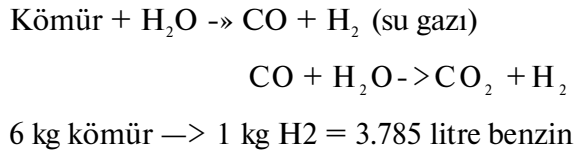
Hidrojen suyun ısı parçalanması (termal krakingi) ile de üretilmektedir:



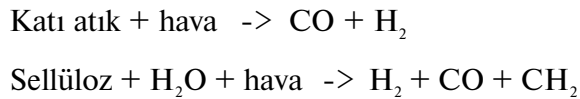
Hidrojen doğal gazın ve gaz hidrokarbonların buhar reformasyonu ile üretilmektedir:

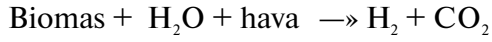


Kömür gazifikasyon teknolojisi ile hidrojen üretilmektedir. Gazifikasyon işlemi kolaylıkla kükürtün elimine edilmesine olanak tanıdığından çekici bulunmaktadır.

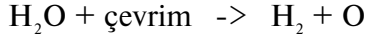


Katı atıkların ve kanalizasyon materyalleri de hidrojen için hammadde olup, gazifikasyon işlemine bağlı olarak sentez gazının hava veya oksijenle reformasyonu hidrojen vermektedir:

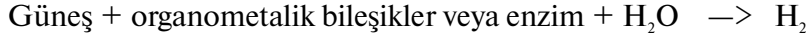




Termokimyasal çevrimlerle sudan hidrojen üretilebilir:



Fotokimyasal işleme hidrojen üretilebilir:



Hidrojen üretimi için diğer yöntemler de şöyle sıralanabilir:

Suyun ısı ayrıştırılması (decomposition).

Biyolojik ve biyokimyasal hidrojen üretimi.

Fotoelektrokimyasal hidrojen üretimi.

Denizlerde direkt güneş enerjisi çevrimi ile hidrojen üretimi.

Uzay güneş gücü istasyonlarının enerjisiyle hidrojen üretimi.

Yukarıda sıralanan hidrojen üretim teknikleri endüstriyel uygulamalar için hidrojen üretim teknolojilerine dönüştürülmüş olup, hidrojen üretim teknolojileri alışılmış ve yeni geliştirilmiş diye ikiye ayrılmaktadırlar. Alışılmış teknolojiler; ana amacı hidrojen üretimi olan ve yan ürün olarak hidrojen veren teknolojiler diye ikiye ayrılır. Hidrojen üretimi için kullanılan alışılmış teknolojiler; doğal gazın katalitik buhar reformasyonu, ağır petrolün kısmi oksidasyonu (pox), kömürün gazifikasyonu (Koppers-Totzek ve Texaco gazifikasyon işlemleri), buhar-demir işlemi ve suyun elektrolizi biçiminde sıralanabilir. Yan ürün olarak hidrojenin elde edildiği alışılmış teknolojiler ise klor-alkaliden karşıt klor üretimi, ham petrolün rafineri işleminde hafif gazların üretimi, kok fırınlarında kömürden kok üretimi ve kimyasal dehidrojensasyon işlemleridir. Bunların yanısıra amonyağın ve metanolün parçalanması ile hidrojen elde olunabilirse de bu iki işlem hidrojen üretimi için temel değildir.

Hidrojen üretimi için geliştirilmiş teknolojiler; buharın yüksek sıcaklıkta elektrolizi, gazlaştırılmış kömürün elektrokondüktif membran işlemi, kömür gazifikasyonu ile bütünleştirilmiş yüksek sıcaklık elektrolizi (CG-HTE), doğal gazın ısı krakingi, kömürün HYDROCARB ısı dönüşümü olarak tanımlanabilir. Ayrıca suyun termokimyasal parçalanması, plazma-güneş ve radyasyon işlemleri (plazma-ark işlemi - fotolitik lazer işlemi - yüksek enerjili radyasyon işlemi), güneş fotovoltai su elektrolizi diğer ileri yöntemlerdir. Bunların dışında biyolojik üretim yöntemleri de olup, mikroalgalar ve cyanobakterialar ile biofotoreaktörlerden fotobiyolojik yöntemlerle hidrojen elde olunabilmektedir.

Yakıt olarak kullanılacak kütleli üretim için elektroliz, fotoelektrokimyasal üretim, termokimyasal üretim, fotobiyolojik üretim yöntemleri ağırlık kazanmıştır. Amorf nikel-kobalt alaşımı anod ve katod materyallerle alkali suyun elektrolizi için geliştirilmiş çeşitli işlemler bulunmaktadır. Hidrojen üretiminde özellikle güneş enerjisinden yararlanma istemi ile güneş fotovoltai-hidrojen enerji sistemleri üzerinde önemle durulmaktadır.

Üretilen hidrojen depolanabilmekte, boru hatları ve/veya tankerlerle taşınabilmektedir.

Hidrojenin depolama yöntemleri; tüplenmiş alçak basınçlı gaz (12 bar) ve yüksek basınçlı gaz (150 bar) dışında sıvılaştırılmış biçimde, kriyojenik (dondurulmuş) tanklarda (220 kPa) ve metalik hidrid biçiminde olabilmektedir. Hidrojen gaz biçiminde boru hatlarıyla taşınabildiği gibi, yüksek basınçlı gaz ve sıvılaştırılmış biçimde tankerlerle taşınabilmektedir. Hidrojenin eşsiz bir özelliği, ekzotermik kimyasal reaksiyon kapsamında bazı metal ve alaşımlarla kolayca, büyük miktarlarda hidrid biçimine dönüşebilmesidir. Hidridler, bir tank içinde gaz hidrojenin metal alaşım parçacıkları ile bileşik oluşturmuş biçimde depolanmasıdır. Hidridler titanyum alaşımları (özellikle demir-titanyum), palladyum alaşımları, zirkonyum alaşımları, titanyum - zirkonyum-vanadyum - nikel alaşımları, titanyum - zirkonyum - vanadyum - demir - krom - mangan alaşımları, magnezyum - nikel alaşımları vs. gibi materyallerle oluşturulmaktadır. Hafif kütleli metal hidridler yeğlenmektedir. Hidridlere ısı verildiğinde hidrojen serbest kalmaktadır. Hidridlerin düşük sıcaklık hidridleri ve yüksek sıcaklık hidridleri diye iki çeşidi vardır. Demir titanyum alaşımı düşük sıcaklık hidridi iken, magnezyum-nikel alaşımı yüksek sıcaklık hidrididir. Uygulamada bazen düşük ve yüksek sıcaklık hidridlerinin kombinasyonu kullanılmaktadır. Metal hidridler paket olarak taşımaya uygundur.

4. Hidrojen Yakıtının Özellikleri:

Bilinen en hafif kimyasal element hidrojendir. Hidrojenin yakıt olarak kullanılmasına ilişkin düşünceler 1820'lere kadar inmektedir. Bugün yakıt seçiminde kriter olarak alınan ulaştırma yakıtı olma özelliği, dönüşebilirlik (çok yönlü kullanıma uygunluk), kullanım verimi, çevresel uygunluk, emniyet ve efektif maliyet açısından yapılan değerlendirmeler hidrojen lehine sonuçlar vermektedir.

Ulaştırma yakıtı olma özelliği yalnızca yakıtın enerji içeriğine ve fiziksel durumuna bağlı olmayıp, devitim - işletme (motivity) faktörüne de bağlıdır. Hidrojeni diğer yakıtlarla kıyaslama açısından devitim faktörü aşağıdaki biçimde tanımlanmaktadır:

$$\Phi_M = \frac{\left(\frac{E}{M}\right) \left(\frac{E}{V}\right)^{2/3}}{\left(\frac{E_h}{M_h}\right) \left(\frac{E_h}{V_h}\right)^{2/3}}$$

Burada; $\langle \Phi \rangle_M$ devitim faktörü (0.....1), yakıtın kütlesi M, buna karşılık olan hacmi V ve enerji içeriği E ile gösterilmiş olup, h endisi hidrojeni işaret etmektedir. Çeşitli ulaştırma (motor) yakıtlarının karşılaştırmalı özellikleri tablo 1 'de verilmiştir.

Tablo 1. Ulaştırma (motor) yakıtlarının özellikleri

Yakıt	Kimyasal formül	Isıl değer MJ.kg ⁻¹	Isıl değer MJ.m ³	Devitim fak. Φ_M
Sıvı yakıtlar				
Fuel-oil	Q20 H \leq_{42}	45.5	38.65	0.78
Benzin	C 5- 10 H 12-22	47.4	34.85	0.76
Jet yakıtı	C 10-15 H 22-32	46.5	35.30	0.75
LPG	C 3.4 H g. 10	48.8	24.40	0.62
LNG	~CH ₄	-50.0	-23.0	0.61
Methanol	CH ₃ OH	22.3	18.10	0.23
Ethanol	C ₂ H ₅ OH	29.9	23.60	0.37
LH ₂	H ₂	141.9	10.10	1.00
Gaz yakıtlar				
Doğal gaz	~CH ₄	-50.0	0.040	0.75
GH ₂	H ₂	141.9	0.013	1.00

Yakıtın dönüştürülebilirliği ya da çok yönlü kullanımı (convertibility) yanma işlemi dışında ısı enerjisi, mekanik enerji ve elektrik enerjisi gibi son tüketim biçimlerine dönüştürülebilir özelliğini gösterir. Hidrojenin çok yönlü kullanımı diğer bütün yakıtlardan üstün olup, bu hidrojenin yeni bir avantajıdır. Tablo 2'de bu açıdan hidrojenin fosil yakıtlarla karşılaştırması gösterilmiştir.

Tablo 2. Yakıtların çok yönlü kullanımı

Çevrim işlemleri	Hidrojen	Fosil yakıtlar
Alevli yanma	Evet	Evet
Direkt buhar üretimi	Evet	Hayır
Katalitik Yanma	Evet	Hayır
Kimyasal çevrim (hidridleşme)	Evet	Hayır
Elektrokimyasal çevrim (yakıt hücresi)	Evet	Hayır

Hidrojenin alevli yanması ($H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O + \text{Isı}$) aşağıdaki yerlerde kullanılmaktadır:

* İçten yanmalı motorlar (Otto - Diesel)

- * Gaz türbinleri
- * Jet motorları
- * Roket motorları
- * Isıtma
- * Pişirme

Hidrojenin direkt buhara dönüşme işlemi $[H_2 + \frac{j}{2} O_2 + \dots \rightarrow n H_2O (n+1) \rightarrow H_2\ddot{O}_{BUHAR}]$ aşağıdaki uygulamalarda kullanılır:

- * Buhar türbinleri
- * Buharlı devitim
- * Endüstriyel buhar
- * Buharla ısıtma

Hidrojenin katalitik yanması $(H_2 + \frac{1}{2} O_2 + \text{katalist} \rightarrow H_2O + \text{Isı})$ aşağıdaki işlemlerde kullanılmaktadır:

- * Pişirme
- * Su ısıtma
- * Hacim (ortam) ısıtma
- * Absorpsiyonlu soğutma

Hidrojenin hidridleşme çevrimi $(mM + nH_2 \rightarrow M_m H_{2n} + \text{ısı}, M_m H_{2n} + \text{ısı} \rightarrow mM + nH_2)$ önemli bir özelliği olup, aşağıda sıralanan pekçok uygulamada bu özelliğinden yararlanılmaktadır:

- * H_2 depolama
- * H_2 zenginleştirme-ayırma
- * D_2 ayırma
- * Kompresyon
- * Pompaj
- * Isı pompası
- * Soğutma
- * İklimlendirme
- * Elektrik üretimi

Hidrojen Carnot çevriminin sınırlayıcı etkisi altında kalmadan yakıt hücreleri yardımıyla ve elektrokimyasal çevrimle direkt elektrik üretiminde de kullanılabilen bir yakıttır. Bu işlemde hidrojen $(H_2 + \frac{x}{2} O_2 + \text{yakıt hücresi} \rightarrow \text{d. a. elektrik} + H_2 + \text{Isı})$ alkalın, fosforik asit, katı polimer, ergimiş karbonat, katı oksit tip elektrolitli yakıt hücrelerinde % 50-80 verimle kulla-

nilabilmektedir. Buraya kadar yapılan açıklamalara göre, hidrojenin dönüşebilirlik faktörü $O_{vh} = 1$ alınırsa, fosil yakıtların dönüşebilirlik faktörü $O_{vf} = 0.4$ olmaktadır.

Hidrojen kullanım verimi açısından da en yüksek verim düzeyleri sağlayan bir yakıttır. Tablo 3'de hidrojenin avantajı olan kullanım verim faktörleri açıklanmıştır. Bu tabloda kullanım verimi faktörü (O_u), fosil yakıt kullanım koşulundaki verimin, hidrojen kullanım koşulundaki verime oranı biçiminde tanımlanmıştır. Isı enerjisi üretiminde hidrojenin katalitik yanması, alevli yanmasından daha verimlidir. Elektrik üretiminde yakıt hücreleri daha verimli bulunmaktadır. Hidrojen motorları da gerek çevrimlerinin daha kapalı oluşu ve gerekse daha yüksek sıkıştırma oranları nedeni ile daha yüksek verimli olmaktadır.

Tablo 3. Hidrojen kullanım verimleri.

Uygulama	Kullanım verimi faktörü
$\llcorner Pu = (\% AIH)$	
Isıl enerji - alevli yanma	1.00
Isıl enerji - katalitik yanma	0.80
Isıl enerji - buhar üretimi	0.80
Elektrik gücü - yakıt hücreleri	0.54
Yüzey taşımacılığı - içten yanmalı motorlar	0.82
Yüzey taşımacılığı - yakıt pilleri/EM	0.40
Subsonik jet taşımacılığı	0.84
Süpersonik jet taşımacılığı	0.72
Ağırlıklı ortalama	0.72
Hidrojen kullanımı verim faktörü	1.00
Fosil yakıt kullanımı verim faktörü	0.72

Yakıtlar için önemli olan bir özellik de çevresel uygunluktur. Fosil yakıt kullanımının hava kalitesi, insanlar, hayvanlar, plantasyonlar ve ormanlar, akuatik ekosistemler, insan yapısı yapılar, açık madencilik, iklim değişikliği, deniz seviyesi yükselmesi üzerindeki olumsuz etkilerinden kaynaklanan çevre zararları dünya genelinde, 1990 verileri ile kömür için 9.8 \$ GJ', petrol için 8.5 \$ GJ' ve doğal gaz için 5.6 \$ GJ' olduğu saptanmıştır. Çevresel zarar ve çevresel uygunluk faktörü için fosil yakıt sistemi, kömür/sentetik yakıt sistemi ve güneş-hidrojen sistemi bu verilerin ışığında karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları tablo 4'de yer almaktadır.

dır.

Tablodaki fosil yakıt sistemi, bugünkü genel enerji düzeninin devamı biçiminde düşünülerek, fosil yakıt tüketiminin % 40'ının ısı enerjisi, % 30'unun elektrik üretimi ve % 30'unun ulaştırma amacıyla kullanılacağı hesaba katılmıştır. Kömür/sentetik yakıt sisteminde ise fosil yakıt tüketiminin günümüz trendi ile sürmesine karşın, kömürün akışkan yakıt, yani gaz ve sentetik doğal gaz (SDG) biçimine dönüştürülerek kullanılacağı düşünülmüştür. Güneş-hidrojen sisteminde, yakıt isteminin hidrojenle karşılanacağı, hidrojenin üçte birinin hidrolik güçle ve kalan üçte ikisinin hidrolik güç dışındaki direkt veya indirekt güneş enerjisi biçimleri ile karşılanacağı varsayılmıştır.

Tablo 4. Çevresel zarar ve çevresel uygunluk faktörleri.

Enerji sistemi	Yakıt	Çevresel zarar \$GJ ⁻¹	Çevresel uygunluk faktörü, 3>E
Fosil Yakıt		8.42	
	Kömür	9.82	0.047
	Petrol	8.47	0.054
	Doğal gaz	5.60	0.082
Kömür/sentetik yakıt		10.47	
	Sent. gaz	13.77	0.033
	SDG	9.13	0.050
Güneş-hidrojen		0.46	
	Hidrojen	0.46	1.000

Hidrojeni diğer enerji sistemleri ile çevresel etki değerlendirmesi açısından karşılaştırmada, buhar üretimi de bir kriter olarak alınmak zorundadır. Hidrojenin alevli yanma işlemindeki oksidasyonu su buharı üretmektedir. Ancak, fosil yakıt kullanımının neden olduğu global sıcaklık artışı da atmosferdeki buhar üretimini artırmaktadır. Bu buhar üretimlerinin güneşin ısıtması ile oluşan doğal buharlaşma ile karşılaştırması tablo 5'de gösterilmiştir. Tablo 1990 yılı dünya enerji tüketimine göre düzenlenmiştir. Tablodan görüleceği gibi güneş-hidrojen sisteminin fosil yakıt ve kömür/sentetik yakıt sistemlerine göre neden olacağı toplam buharlaşma daha azdır.

Tablo 5. 1990 yılı verileri ile üç enerji sisteminin buhar üretimleri.

Güneş ısıtmasının neden olduğu yıllık buhar üretimi 5×10^{12} kg				
Açıklama	Birim	Fosil yakıt sistemi	Kömür/ sentetik yakıt sistemi	Güneş/ hidrojen sistemi
Enerji sistemi ile üretilen yıllık buhar	10^{12} kg	7.1	7.4	9.6
Global ısınmanın neden olduğu yıllık buhar üretimi	10^{12} kg	3600	3600	0
Enerji sisteminin ve global ısınmanın neden olduğu yıllık toplam buhar üretimi	10^{12} kg	3607	3607	9.6
Doğal üretimin yüzdesi olarak buhar üretimi	%	0.721	0.721	0.002

Yakıtların emniyet açısından değerlendirilmesinde çeşitli kriterler göz önüne alınır. Hidrojen, metan ve benzinin yangın tehlikesine yönelik karakteristikleri tablo 6'de ve yakıtların emniyet açısından puanlandırılması da tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6. Yakıtların yangın tehlikesi ile ilişkili karakteristikleri.

Özellik	Benzin	Metan	Hidrojen
Yoğunluk, kg.m^{-3}	4.40	0.65	0.084
Hava içindeki diffüzyonu, $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$	0.05	0.16	0.61
Sabit basınçtaki özgül ısı, J g K^{-1}	1.20	2.22	14.89
Havada ateşleme sınırı, % hacim	1.0-7.6	5.3- 15.0	4.0 - 75.0
Havada ateşleme enerjisi, mJ	0.24	0.29	0.02
Ateşleme sıcaklığı, °C	228-471	540	585
Havada alev sıcaklığı, °C	2197	1875	2045
Patlama enerjisi, g TNT kJ'	0.25	0.19	0.17
Alev emissivitesi (yayılma hızı), %	34-42	25 -33	17-25

Tablo 7. Yakıtların emniyet sıralaması, yakıt sıralaması*

Karakteristikler	Benzin	Metan	Hidrojen
Yakıtın zehirliliği	3	2	1
Yanma ürünlerinin zehirliliği (CO, SO _x , NO _x , HC, PM)	3	2	1
Yoğunluk	3	2	1
Diffüzyon katsayısı	3	2	1

Özgül ısı	3	2	1
Ateşleme sınırı	1	2	3
Ateşleme enerjisi	2	1	3
Ateşleme sıcaklığı	3	2	1
Alev sıcaklığı	3	1	2
Patlama enerjisi	3	2	1
Alev emissivitesi	3	2	1
TOPLAM PUAN	30	20	16
Emniyet faktörü, ϕ_2	0.53	0.80	1.00

* 1 En emniyetli, 2 Daha az emniyetli, 3 En az emniyetli

Tablo 7'den görüleceği gibi hidrojen emniyetli bir yakıttır. Karşıt görüşle örnek olarak gösterilebilen, hidrojen dolu balonun 1937'de Hindenburg'da yanarak düşmesi sonucu ortaya çıkan, 35 insanın öldüğü ve 65 insanın kurtulduğu kaza, hidrojenin emniyetli olmadığını göstergesi değildir. Söz konusu kaza o dönemdeki uçan balon teknolojisinin eksiklik ve hatalarının sonucudur. Kaldı ki, balonu şişirici olarak kullanılan ve bez torbalarda depolanan gaz hidrojen ile yakıt hidrojeni için alınan güvenlik önlemleri de farklıdır.

Yakıtların ekonomik kıyaslaması efektif maliyete göre yapılır. Effektiv maliyet ise iç ve dış maliyetler ile kullanım verimlerinin fonksiyonudur. Bir yakıtın iç maliyeti C_1 , alışlagelmiş olan çıplak maliyetidir. Dış maliyet C_2 ise, çevresel zararları içeren maliyet olmaktadır. Ayrıca, yakıtın çeşitli uygulama alanlarındaki kullanım verimleri önem kazanmaktadır. Herhangi bir (k) uygulamasında (ısıtma... ulaştırma, vb.) fosil yakıtın kullanım verimi r^f , aynı yerde hidrojenin kullanım verimi (t_{kh} olduğuna göre, karşılaştırma için baz alınacak efektif maliyetler aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$C_e = (C_1 + C_2) (\eta_{fk} / \eta_{kh})$$

Buna göre, 1990 yılı Amerika Birleşik Devletleri verileri ile bulunan fosil yakıt, kömür sentetik ve güneş-hidrojen sistemlerinin efektif maliyetleri ve ekonomi faktörleri tablo 8'de yer almaktadır.

Tablo 8. Enerji sistemleri için efektif maliyetler ve ekonomi faktörleri.

Enerji sistemi	Yakıt	Effektiv maliyet \$GJ'	Ekonomi faktörü $\phi > C$
Fosil yakıt		14.97	
	Benzin		21.40 0.61
	Doğal gaz		11.82 1.10

Kömür/sentetik	18.65		
	Sent. gaz	34.97	0.37
	SDG	24.81	0.52
Güneş-hidrojen	13.02		
	Hidrojen	13.02	1.00

Günümüzde maliyet karşılaştırmaları, daha çok iç ya da çıplak maliyetlerle yapılmaktadır. Yalnız iç maliyet açısından bakıldığında, en ucuz hidrojen üretimi kömürden sağlanmakta, onu hidro-hidrojen izlemektedir. En düşük hidrojen maliyeti ulaştırma sektöründe benzinden ucuz olabilmektedir. Dış maliyet, yani çevre maliyeti gözönüne alınmaksızın hidrojen endüstri, konut ve elektrik sektörlerinde doğal gazdan 1.5 - 3.7, petrol ürünlerinden 1.3 - 3.5 ve kömürden 4.7 - 5.8 kat daha pahalıdır. Ancak, yakıt hidrojenin kütleli üretimi yapılmadığından bu karşılaştırmalar göreceli kalmaktadır.

Buraya dek tanımlanmış 6 adet değerlendirme faktöründen ($\langle D_{M...} \langle D_{\rangle}$) yararlanılarak, tüm başarı faktörü $\langle 3 \rangle_0$ aşağıdaki biçimde bulunabilir:

$$* \cdot = \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{H} \cdot \frac{1}{I}$$

Yakıtların başarı ve toplu başarı faktörlerine göre karşılaştırmaları tablo 9'da gösterilmiştir. Tablodan görüleceği gibi hidrojen;

- * ulaştırma için en uygun,
- * en iyi dönüşebilirliği olan,
- * kullanım verimi en yüksek,
- * çevre ile en uyumlu,
- * emniyetli,
- * en düşük efektif maliyetli (toplum için) yakıttır.

Tablo 9. Yakıtların toplu sıralaması - boyutsuz başarı faktörleri,

Faktörler	Sent. Gaz	SDG	Benzin	Doğal gaz	Hidrojen
Devitim, O_M	0.76	0.64	0.76	0.64	1.0
Dönüşebilirlik, $\langle 4 \rangle_v$	0.40	0.40	0.40	0.40	1.0
Kullanım verimi, $\langle 4 \rangle_u$	0.72	0.72	0.72	0.72	1.0

Çevresel uygunluk, $\langle D \rangle_E$	0.033	0.050	0.054	0.082	1.0
Emniyet, $\langle D \rangle_S$	0.53	0.8(1	0.53	0.80	1.0
Ekonomi, $\langle E \rangle_C$	0.37	0.52	0.61	1.10	1.0
Tüm başarı, O_a	0.47	0.52	0.51	0.62	1.0

5. Hidrojen Motorları:

Hidrojenin içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılmasına ilişkin çalışmalar motorların ilk bulunduğu yıllara dek uzanmakta ise de, karbüratör tekniğinin geliştirilmesi sonucu benzine verilen önemle ötelenmiştir. Almanya'da 1920 yılında Erren'in ve 1940 yılında Oemichen'in hidrojenli motorlar üzerinde çalışmaları bulunmaktadır. 1970'li yıllardaki petrol krizlerinin ardından başta Amerika'daki Miami Üniversitesi Temiz Enerji Laboratuvarı olmak üzere Japonya, Almanya ve Rusya'da bu tür çalışmalara yeni teknoloji ile yönelindiği bilinmektedir. 1974-1994 arasında aralarında Ballard, BMW, Daimler Benz, Ford, G.M., Honda, Mazda, Suzuki, Toyota gibi otomotiv firmalarının da bulunduğu çeşitli kuruluşlar, hidrojenle çalışan motorları kendi demonstrasyon araçlarında denemişlerdir.

Hidrojen diğer bütün otomotiv yakıtlarından üstün özellikler taşımakta ve alternatif hareketli içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Wankell motorları için de hidrojen ideal bir yakıttır. Akaryakıt motorlarında görülen buhar tıkaçı, soğuk yüzeylerde yoğunlaşma, yeterince buharlaşmama, zayıf karışım gibi sorunlar hidrojen motorlarında yoktur. Hidrojen motorları 20.13 K (-253 °C) de ilk harekete sokulurken bile sorun çıkarmaz. Hidrojen yüksek alev hızına, geniş alev cephesine ve yüksek detansiyon sıcaklığına sahip olup, kontrolsüz yanmaya karşı dayanıklıdır. Hidrojenin geniş bir tutuşma açıklığı olduğundan, bu tür motorlar değişik hava fazlalık katsayılarında çalıştırılabilmektedir. Hidrojen motorlarının iki ve dört zamanlı olanları vardır. Hidrojen motorlarının sıkıştırma oranı daha yüksektir. Hidrojen motorları diesel motorlarından daha yüksek verimli ve benzin motorlarından daha yüksek devir sayılırlar.

Hidrojen motorlarında karışımın hazırlanması dışsal veya içsel biçimde yapılabilir. Her iki sistemde de yüke göre karışım ayarlanabilmektedir. Dışsal yöntemde hava ve hidrojen gaz karıştırıcıda karıştırılmakta, düşük basınç altında emme manifolduna verilmektedir. Ancak, bu yöntemde önemli bir geri tutuşma sorunu ile karşılaşmaktadır. Ayrıca, motor içindeki sıcak bölgeler nedeni ile detansiyona neden olan erken tutuşma tehlikesi de bulunmaktadır. Geri tutuşma ve erken tutuşma sorunlarına çözüm içsel karışım hazırlama yöntemi ile bulunmuş ve hidrojenin emme veya sıkıştırma zamanında direkt yanma odasına gönderilmesi yoluna gidilmiştir. Bu nedenle, hidrojen motorları çoğunlukla enjeksiyonlu motorlardır. Diesel kafalı motorlarda hidrojen enjeksiyonu ön yanma odasına yapılırken, Otto kafalı motorlarda doğrudan yanma odasına yapılmaktadır.

Motorda gaz hidrojen kullanılması durumunda, hidrojen gazı silindir hacminin % 30 kadarını kapladığından, aynı büyüklükteki benzin motoruna göre hidrojen motorunun maksimum gücünde % 15 kadar azalma görülebilmektedir. Buna karşın sıvı hidrojen kullanıldığında, emme subabı kapandıktan sonra püskürtmenin yapılması koşulu ile benzin motoruna göre % 20 güç artışı sağlanmaktadır. Geliştirilmiş içsel karışım hazırlama yönteminde sıvı hidrojen 10 MPa basınç altında püskürtülmekte ve süperşarj işlemi ile motorun gücü artırılmaktadır. Hidrojenin diffüzyon katsayısının yüksekliği karışımın homojenliğini sağlamaktadır. Burada kullanılan sıvı hidrojen pompalarının yağlama sorunu vardır.

Hidrojenle çalışan içten yanmalı motorun yanma sırasında oluşan azot oksit (NO_x) emisyonu, mevcut bir motordan 200 kat daha azdır. Kaldı ki, benzin-hava karışımına % 5 hidrojen eklenince NO_x emisyonu % 30-40 azalma göstermektedir. Bu da çevre açısından önemli bir kazançtır. Nitekim, son yıllarda çift yakıtlı motorlar denilen hidrojen/benzin ve hidrojen/doğal gaz karışımli Otto çevrimli motorlar ortaya çıkarılmıştır. Bunun bir nedeni de karışımın fakirleştirilmesi ile özgül yakıt tüketiminin azaltılmasıdır. Fakir karışımli motorların CO_x ve HC emisyonları azalmaktadır. Karışımın fakirleştirilmesi ile oluşan ateşleme ve yanma sorunlarına motor dizaynı dışında çözüm, gerekli stokyometrik oranların altına inildiğinde fakir-benzin hava karışımına belli oranda hidrojen enjeksiyonu ile sağlanmaktadır. Silindire sokulan toplam yakıt kütlelerinin % 20'sine varan oranlarda hidrojen katkısı yapılabilmektedir. Çift yakıtlı motorların günümüz klasik motorları ile hidrojen motorları arasında bir geçiş aşaması oluşturacağı beklenmektedir.

Hidrojen Kullanımından Örnekler:

1970'li yıllara girilirken hidrojen enerji taşıyıcısı olarak göz önüne alınmıyor, hidrojen enerjisi kavramına enerji literatürlerinde pek rastlanmıyordu. 18-20 Mart 1974 tarihlerinde Amerika Florida Miami Üniversitesi Temiz Enerji Araştırma Enstitüsü'nde, Enstitü Direktörü Türk bilim adamı Prof.Dr. T. Nejat Veziroğlu'nun başkanlığında düzenlenen "Hidrojen Ekonomisi Miami Enerji Konferansı (THEME), çağdaş boyutta hidrojen enerjisi kullanımı için bir başlangıç noktası oluşturmuştur. Hidrojen enerji sisteminin yanısıra, birbirleri ile bağlantılı biçimde enerji ve çevre sorunlarının tartışıldığı bu uluslararası forumda, Uluslararası Hidrojen Enerjisi Birliği (IHEA) kurulması kararlaştırılmıştır. 1974'de az bilinen hidrojen enerjisi, hidrojen ekonomisi ve hidrojen enerji sistemi 1997'de iyi bilinen ve kabul olunan kavramlardır. Artık A.B.D., Almanya, Kanada, Rusya gibi ülkelerin yanısıra Uluslararası Enerji Ajansı gibi kuruluşlar hidrojen araştırma ve geliştirme çalışmalarına bütçe ayırmaktadırlar. Birincisi 1974 yılında yine Miami'de yapılan Dünya Hidrojen Enerjisi Konferansları'nın (WHEC's) onbirincisi, geçtiğimiz 1996 yılında Almanya Stuttgart'da yapılmıştır. Bugün dünyada hidrojenle ilgili onu aşkın sivil toplum kuruluşu vardır ve ona yakın periyodik yayınlanmaktadır.

Hidrojen enerjisi alanında çeşitli ülkelerin işbirliği sonucu uluslararası programlar başlatılmıştır. Avrupa Topluluğu ile Kanada'nın EURO-QUEBEC (hidro-hidrojen) projesi, Norveç ve Almanya'nın NHEG projesi, Almanya ve Suudi Arabistan'ın HY-SOLAR (güneş-hidrojen) Projesi, iskandinav ülkeleri ile Yunanistan'ın işbirliği, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) hidrojen enerjisi projeleri, Japonya'nın WE-NET programı, Birleşmiş Milletler UNIDO-IC-HET hidrojen çalışmaları bunlara örnek gösterilebilir.

Sürdürülen bu çalışmalardan en büyüğü olan Euro-Québec Hidro-Hidrojen Pilot Projesi (~EQHHPP) 100 M W lık kapasitededir. Kanada Québec'de hidrolik kaynaktan üretilecek elektrikle suyun elektrolizinden elde olunacak gaz hidrojen, yine Kanada'da sıvı hidrojen (LH₂), amonyak (NH₃) ve metilsikloheksan (MCH) biçiminde bağlanacak, sonra Atlantik'den gemilerle Avrupa'ya taşınacaktır. Avrupa'da enerji uygulaması ile gaz ve/veya sıvı hidrojene dönüştürülerek konutlarda, termik santrallarda, kent otobüslerinde ve araçlarda, uçaklarda yakıt olarak kullanılacak, ayrıca kimya endüstrisi için toluen üretilecektir. Enerji ekonomisi analizlerine göre Kanada'daki 100 MW'lık hidrolik güç Almanya Hamburg'da 74 MW'lık hidrojen gücüne dönüşmüş olacaktır. Bu güçle yılda 614 GWh enerji sağlanacaktır. Proje tesis maliyeti 415 milyon ECU (~514.4 milyon ABD \$) kadardır. Özgül hidrojen enerjisi maliyeti ise 14.8 sentECU.kWh-1 (-18.3 ABD sent.kWh-1) düzeyinde bulunmaktadır.

Tokyo Elektrik Şirketi birkaç yıl öncesinde 4.5 MW'lık hidrojen yakıt hücreli elektrik üretimi deneme çalışmalarını başlatmış olup, şimdi bir diğer 11 MW'lık yakıt hücresini ele almış bulunmaktadır. Hidrojen yakıt hücreli elektrik üretimi üzerinde adı geçen şirketten başka International Fuel Cells, Kansai Electric Power, Pratt & Whitney, Siemens, Toshiba, Westinghouse, EPRI gibi şirketler de çalışmaktadır.

Hidrojenden güç üretimi için içten yanmalı motorların yanısıra, yakıt hücreleri ile elektrik motoru da kullanılmaktadır. 1994 sonrası çalışmaları olarak Macchi-Ansoldo'nun bir şehir otobüsü yine demonstrasyon için diesel-elektrik karma sistemli olarak yakıt hücreli hidrojen otobüsü biçimine getirilmiştir. Hidrojen yakıt hücreli denizaltılar Almanya Avustralya ve Kanada donanmasında test edilmektedir. Kanada demiryolları hidrojen yakıt hücreli lokomotiflerin geliştirilmesi üzerinde durmaktadır. Gelecek 15-30 yıl içinde tüm lokomotiflerin hidrojen-yakıt hücreli güç sistemine dönüştürülmesi hedeflenmiştir.

Uzay mekiğinde ve uzay araştırma roketlerinde hidrojen kullanıldığı bilinmektedir. Ancak, hidrojenle çalışan ilk uçak, Amerika'nın 1956 yılında ilk uçuşunu yapan B-57 Canberra adlı deneme uçağıdır. Sovyetler Birliği'nin hidrojenle çalışan ilk uçağı Tupolev-155'in deneme uçuşu 1988 yılında yapılmıştır. Türbin yakıtı olarak hidrojeni kullanacak uçaklar konusunda Almanya-Rusya işbirliği, Avrupa Airbus Konsorsiyumu çalışmaları ve Japon hipersonik uçaklar programı sayılabilir.

Hidrojenli kara taşıma araçları konusunda 1990 öncesi yapılmış çok çalışma vardır. Bu araçlarda hidrojenli içten yanmalı motorların yanısıra yakıt hücreleri ile elektrik motorlarının kullanıldığı görülmüşse de, içten yanmalı motorlar ağırlıklı yer kapsamıştır. 1980-1990 döne-

minde on kadar firmanın ürettiği demonstrasyon otoları vardır. Hidrojenli araçlarda hidrojen depoları sıvı hidrojen ya da aşırı soğutulmuş sıvı (kriyojenik) ve metal hidrid biçiminde olmuştur. BMW, Dodge, Buick, Suziki gibi pekçok demonstrasyon otosunda sıvı hidrojen tankları kullanılmıştır. Mercedes marka otobüs, station-wagon ve minibüs tipi demonstrasyon araçlarında ise metal hidrid depolara yer verilmiştir. Hidridlerden hidrojenin ayrılması için soğutma suyu veya ekzost ısısından yararlanılmaktadır. Ayrıca, hidrojenli içten yanmalı motorlarla çalışan traktör, motosiklet, çim biçme makinası da yapılmıştır.

Hidrojenli araçlar konusunda son yılların demonstrasyon çalışmaları da şöyle sıralanabilir. % 15-20 hidrojen ve % 80-85 doğal gaz karışımı yakıt hythane olarak adlandırılmakta olup, bu yakıtla çalışan bir demonstrasyon otobüsü 1993 yılında Kanada Montréal'da denenmiştir. MAN firması içten yanmalı doğal gaz motorundan geliştirdiği tek sıra üzerinde altı silindirli hidrojen motorunu MAN SL 202 demonstrasyon otobüsüne uygulamıştır. Motor maksimum olarak benzinle 170 kW, hidrojenle 140 kW güç geliştirmektedir. Hidrojen sıvı hidrojen tankından sağlanmakta olup, 1994 yılından bu yana Almanya'da test edilmektedir. MAN D 2566 Diesel motoru da hidrojene uyarlanmış olarak bir diğer test otobüsüne uygulanmıştır. 85 kW güçlü motoru olan bu otobüs önce metal hidrid depo ile denenmiş, sonra sıvı hidrojen tankı yerleştirilmiştir. Bu otobüsün demonstrasyonu Belçika'da 1994 - 1995 yıllarında yapılmıştır. Bir karma demonstrasyon otobüsü ise ESAMCO'nun dıştan yanmalı Stirling ve hidrojen motorlu sistemidir.

Hidrojenle çalışan katalitik mutfak ocakları, fırın, boyler, su ısıtıcılar, absorpsiyonlu soğutucular gibi uygulamalarla ilgili demonstrasyon çalışmaları da sergilenmiştir. Stasyonery uygulamalar için doğal gaz boru hatları ile hidrojen taşınması konusunda etüdler yapılmıştır. Bir teknoloji standardsız kökleşemeyeceği ve tanımlanamayacağı için, hidrojen enerjisi konusunda uluslararası Standard çalışmaları vardır. Uluslararası Standardlar Organizasyonu (ISO) tarafından ISO/TC-197 Komitesi oluşturularak, hidrojen enerjisi için uluslararası standardlar çalışmalarına girişilmiştir. Standard çalışmaları tanımlar, ölçümler, taşıma, emniyet, araçlar, uçaklar, elektro-kimyasal donanımlar, hidridler, çevre ve uygulama alanlarını kapsamaktadır.

7. Türkiye Açısından Hidrojen Enerjisi:

Türkiye'nin 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı Genel Enerji Özel ihtisas Komisyonu Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Raporu (1993) kapsamında, hidrojen teknolojisine kısaca değinilmekle birlikte, resmileşen kalkınma planında hidrojen enerjisinin adı geçmemektedir. Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu tarafından saptanan 1993-2003 yılı ulusal bilim ve teknoloji politikasında hidrojen yakıtına yer verilmemiştir. Hidrojen konusu üniversitelerimiz ve araştırma kuruluşlarımızda çok sınırlı biçimde ele alınmaktadır. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nde hidrojen alanında Uluslararası Enerji Ajansı programları kapsamında çalışma başlatılmak istenmişse de, söz konusu işbirliği 1996 yılında kesilmiştir. Şimdi Birleşmiş Milletler (UNIDO) desteği ile ICHET projesi kapsamında İstanbul'da Hidrojen Enstitüsü kurul-

ması konusu gündemdir.

Türkiye'de hidrojen yakıtı üretiminde kullanılabilir olası kaynaklar hidrolik enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, deniz-dalga enerjisi, jeotermal enerji ve girilmesine çalışılan nükleer enerjidir. Türkiye gibi gelişme sürecinde ve teknolojik geçiş aşamasındaki ülkeler için uzun dönemde fotovoltaik güneş-hidrojen sistemi uygun görülmektedir. Fotovoltaik panellerden elde olunacak elektrik enerjisi ile suyun elektrolizinden hidrojen üreten bu yöntemde, 1 m³ sudan 108.7 kg hidrojen elde olunabilir ki, bu 422 litre benzine eşdeğerdir. *

Türkiye'nin hidrojen üretimi açısından bir şansı, uzun bir kıyı şeridi olan Karadeniz'in tabanında kimyasal biçimde depolanmış hidrojen bulunmasıdır. Karadeniz'in suyunun % 90'ı anaerobiktir ve hidrojen sülfid (H₂S) içermektedir. 1000 m derinlikte 8 ml.l' olan H₂S konsantrasyonu tabanda 13.5 ml.l' düzeyine ulaşmaktadır. H₂S den elektroliz reaktörü ve oksidasyon reaktörü gibi iki reaktör kullanılarak hidrojen üretimi konusunda yapılmış teknolojik çalışmalar vardır. Bu konuda yapılmış bir diğer teknoloji geliştirme çalışması semikondüktör partikülleri kullanarak fotokatalitik yöntemle hidrojen üretimidir. Güneş ve rüzgar enerjisini kullanarak Karadeniz 'in H₂S içeren suyundan hidrojen üretimi üzerinde literatüre geçmiş bilimsel çalışma olup, Bulgaristan proje geliştirmeye çalışmaktadır.

Teknolojik verilere ve Türkiye'nin enerji - ekonomi verilerine göre 1995-2095 arasında güneş-hidrojen sistemi ile yapılabilecek yakıt üretimi ve bunun fosil yakıtlarla rekabet olanağı simülasyon modeli kapsamında bilgisayar çözümleri ile değerlendirilmiştir. Bu ulusal modelde hidrojen üretiminin artışı için yavaş ve hızlı olmak üzere iki ayrı seçenek alınmıştır. Her iki seçenekte de 2010-2015 döneminde hidrojen enerjisi maliyetinin fosil enerji maliyetinin altına düşebileceği, hidrojen üretiminde sıçramanın 2015 yılından sonra sağlanabileceği, 2015-2030 döneminde fosil yakıt dışalımının düşmeye başlayabileceği bulgulanmıştır. Giderek sağlanacak artışla, 2065 yılında 12.7 EJ enerji eşdeğeri hidrojen üretilebileceği görülmüştür. Hidrojen üretimine bağlı biçimde ulusal kazancın artacağı saptanmıştır. Model bulguları, diğer ülkelerde yapılmış benzer çalışmalara koşut durumdadır.

A.B.D. nin Enerji Departmanı (DOE) tarafından, 2025 yılında Amerika'nın toplam enerji tüketiminin % 10'nunun hidrojenle karşılanması ve böylece petrol dışalımının yan yarıya azaltılmasının hedeflediği göz önüne alınırsa, Türkiye için yapılmış simülasyon modeli çalışmasının bir abartma olmadığı anlaşılır. Kuşkusuz, bu bilimsel senaryo olup, gerçekleşmesi koşullara ve alınacak önlemlere bağlıdır. Modelin verdiği en önemli sonuç, hidrojenin ülkemiz için de umut olabileceğidir. Böyle bir sonuca ulaşabilmek için hidrojen enerjisi ile ilgili araştırma-geliştirme ve teknoloji oluşturma çalışmalarına öncelikle başlamak gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Crawley, G.M., Energy, 1975. Energy, pp. 209-226, Macmillan Publishing Co., New York.
2. Dinga, G.P., 1989. Hydrogen: The Ultimate Fuel and Energy Carrier, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 14, No.11, pp.777-784, Pergamon Press plc, Oxford.

3. Drolet, B. and et.al, 1996. The Euro-Québec Hydro-Hydrogen Pilot Project (EQHH-PP) Demonstration Phase, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 21, No.4, pp.305-316, Elsevier Science Ltd., Oxford.
4. Hassmann, K. and H.M. Kühne, 1993. Primary Energy Sources for Hydrogen Production, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 18, No.8, pp.635-640, Pergamon Press Ltd., Oxford.
5. Nicoletti, G., 1995. The Hydrogen Option for Energy: A Review of Technical Environmental and Economic Aspects, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 20, No. 10, pp.759-765, Elsevier Science Ltd., Oxford.
6. Rosa, V.M. and et.al., 1995. New Materials for Water Electrolysis Diaphragms, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 20, No.9, pp.697-700, Elsevier Science Ltd., Oxford.
7. Soruşbay, C, E. Arslan ve M. Ergeneman, 1990. içten Yanmalı Motorlarda Hidrojenin Yakıt Olarak Kullanımı, Türkiye 5. Enerji Kongresi Teknik Oturum Tebliğleri - 3, s. 377-386, Dünya Enerji Konferansı Türk Mili Komitesi, Ankara.
8. Szyszka, A., 1994. Neunburg Vorm Wald-Test Centre for Solar Hydrogen Technology, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 19, No.10, pp.823-841, Elsevier Science Ltd., Oxford.
9. Ültanır, M.Ö., 1985. Petrol Ürünleri Yerine Kullanılabilecek Sentetik Motor Yakıtlanındaki Gelişmeler, EİE Bülteni, Sayı 116, Ankara.
10. Ültanır, M.Ö. ve M. A. Dayıoğlu, 1994. Enerji ve Çevre Sorununa Global ve Çağdaş Çözüm: Hidrojen Enerjisi, Enerji ve Çevre Sempozyumu, s. 411-420, Mersin.
11. Ültanır, M.Ö., 1995. Hidrojen Enerjisi ve Türkiye'de Hidrojene Geçiş Sorunları, Türkiye 6. Enerji Kongresi Teknik Oturum Bildirileri -1, s. 549 - 563, İzmir.
12. Ültanır, M. Ö., 1996. 21. Yüzyılın Yakıtı Hidrojen, Bilim ve Teknik 344, TİBİTAK, s. 58 - 62, Ankara.
13. Veziroğlu, T.N. and F. Barbir, 1992. Hydrogen: The Wonder Fuel, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 17, No.6, pp.391-404, Pergamon Press Ltd., Oxford.
14. Veziroğlu, T.N., 1995. Twenty Years of the Hydrogen Movement, 1974-1994, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 20, No.1, pp.1-7, Elsevier Science Ltd., Oxford.
15. Veziroğlu, T.N., 1997. Hydrogen Movement and The Next Action: Fossil Fuels Industry and Sustainability Economics, Int. J. Hydrogen Energy, Vol. 22, No.6, pp.551-556, Elsevier Science Ltd., Oxford.

ZEYNEL DEMİREL - Jeotermal enerji ile ilgili 2 soru da MTA'lı eski jeotermalci arkadaşlardan geldi.

Ülkemizde üretilebilir 350 MWe potansiyel, Germencik 100 MWe belirlenmiş potansiyelin, sahanın batı yönünde geliştirilmesiyle daha da arttırılması, Kızıldere ve Tekkehamam sahalarının geliştirilmesi, Çanakkale - Tuzla, Salihli-Caferbeyli, İzmir-Seferihisar, Kütahya-Simav jeotermal sahalarından elde edilebilecektir. Jeotermal sahalarından elde edilebilecek elektrik için en doğru yol sahada yeterince sondaj açmak ve sahanın matematiksel modelini kurmaktır. Bu şekilde ispatlanmış ekonomik potansiyel belirlenebilir. Yukarıda »verilen rakam volumetrik yöntem kullanılarak sahada içerilen ısı enerjisinin hesaplanması ve bu enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülebilirliği yolu ile hesaplanmıştır, bu yöntem dede sahalarda az sayıda açılan sondajlardan elde edilen verilerin yanı sıra jeoloji ve jeofizik yöntemlerle elde edilen verilerden yararlanılmıştır. Sahalar için yapılan hesaplamalar Russell James yaklaşımıyla da ayrıca denetlenmiştir.

Dünyada jeotermal santrallerin toplam kurulu güçleri 6543 MWe'tir. Bu santrallerden üretilen toplam elektrik ise 37952 GWh kadardır. Ülkemizdeki tek jeotermal santral ise Denizli Kızıldere'de olup, kurulu gücü 20 MAVE'tür. Santralde başlangıçta yaşanan birçok problem çözülmüş olup, son yıllarda yaklaşık 80 milyon kWh/yıl elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir.

Kızıldere sahasında 1984 yılında ilk ticari jeotermal santral kuruldu, ancak kabuklaşma ve rezervuar basıncında düşme nedeniyle birçok problem yaşandı. Kabuklaşma için inhibitör denemeleri yapıldı, ancak tam bir başarı sağlanamadı. Mekanik temizleme yoluyla problemin üstesinden gelinmeye çalışıldı. Bugün için kuyu üretimde iken yapılan mekanik temizleme çok başarılı ve ekonomik bir şekilde yürütülmektedir ve atık akışkanda bulunan Bor nedeniyle ortaya çıkan çevre kirliliğini birlikte önlemenin en doğru yolu reenjeksiyondur. 1996 yılında TEAŞ ile birlikte bir proje başlatılmış ve Tekkehamama sahasında 2001 m derinlikte bir kuy u açılmıştır. Ancak kuyuda yapılan testlerde enjektibilite indekisi 1 gibi küçük bir değerde ortaya çıkmıştır, bunun anlamı Kızıldere'den atık akışkanın tekkehamam sahasına taşınması ve bu kuyuya enjeksiyonu ekonomik değildir. Bu nedenle önümüzdeki günlerde 2 bir kuyunun Kızıldere sahasının güneyinde açılması için çalışmalara başlanmıştır.

Sayın Zeki Erzenoğlu'da oldukça uzun bir soru yöneltmiş, cevaplamaaya çalışayım.

Bu kongrede tüm enerji kaynakları, jeotermal dahil çevre dostu olarak gösterilmekte ve olumsuz özellikleri gözardı edilmekte diye başlıyor, soru. Diğer enerji kaynaklarının böyle mi gösterildiğinin bilmiyorum, ancak jeotermal enerji gerçekten çevre dostu bir enerji kaynağı CO₂, So_x emisyonları neredeyse sıfır, atık akışkanın içerdiği çevre için olumsuz elementler de reenjeksiyon ile yeraltına geri verilebiliyor ve çevreye hiçbir olumsuz etki yok.

Soruda birçok konu sıralanmış ve düşüncelerim talep ediliyor. Sırasıyla

Ülkemizde rezervuarların çoğunlukla karonat kayaçlardan oluşması nedeniyle CaCO₃ kabuklaşması sık yaşanan bir sorun, ancak özellikle inhibitör kullanımıyla bu sorun bugün için aşılmıştır. MTA Genel Müdürlüğü AR-GE projeleri içinde inhibitör projesine özel bir önem vermektedir. Birinci aşaması tamamlanmış ve çok sayıda inhibitörün enjeksiyon derinliği (flashing point) ve miktarı ile hangi inhibitörlerin hangi sahalarımız için uygun olduğu araştırmaları tamamlanmıştır. İkinci aşamada ise inhibitör üretiminin gerçekleştirilmesi için

araştırmalar sürdürölmektedir. Yurt dışından ithal edilen inhibitörlerin ağırlıklı olarak fosfanat kökenli oldukları belirlenmiş, katkı maddelerinin neler olduğu ve miktarları üzerinde çalışmalar sürdürölmektedir.

Reenjeksiyon yapılmadığında basınç düşmesi ve 3. sorunuzdaki Bor, Ağır Metallerin çevresel etkileri sorunuzun cevabı sorunun içinde Bu sorunların yaşandığı tüm sahalarda çözüm için önerimiz reenjeksiyon. Reenjeksiyon ile ilgili yeterli bilgi birikimi ve teçhizata sahibiz ancak jeotermal yasanın olmaması kullanıcıları rahatlatmakta ve reenjeksiyon için yatırım yapmamalarına sebep olmaktadır. Çevre Bakanlığının bu konuda daha etkin rol oynaması gerekir.

Son soruda reenjeksiyon yapıldığıında silis kabuklaşması ve rezervuarın soğuması soruluyor. Silis kabuklaşması tabii ki akışkanın silis içeriğiyle doğrudan ilgili. Yüksek sıcaklık sahalarda özellikle bu problem ile karşılaşılabilir. Ancak bilgi birikimimiz bu problemin çözümü imkanını veriyor. Örneğin Kızıldere sahasında bu problem araştırıldı ve sonuçta atık akışkanın rezervuarda silis kabuklaşması yapmaması için sıcaklığının 55C'a kadar silis dinlendirme tanklarında düşürölmesini ve silisini bırakması için de bazı kimyasalların katılmasının gerektiğini ortaya çıkardı. Termal etkileşimin olmaması için de gerekiyorsa 55C sıcaklıkta suyun tekrar atık akışkan ile IOOC'a kadar ısıtılacağı ortaya çıktı. Reenjeksiyonda ilk kriter tabii ki rezervuarın soğumasını önlemeye yönelik lokasyon seçimi Emniyetli uzaklık, üretim kuyularından sahanın jeolojik özellikleri ile rezervuarın jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerine bağlı Emniyetli mesafe için dünyadaki deneyimler 1.5-4.5 km önermekte, ancak en doğru yol sahanın modelinin çıkartmak. Bu konuda da bilgi birikimimiz yeterli ve kısacası reenjeksiyon MTA Genel Müdürlüğü için hiçbir sıkıntısı olmayan bir konu.

M. ÖZCAN ÜLTANIR - Gelen iki sorunun müşterek bir yanı var. Hidrojenin ekonomisi hakkında bilgi isteniyor Sayın Kemal Koman'ın ve Sayın Orhan Yeşin'in.. sorusunda. Maliyeti nedir deniliyor. Ben, hidrojenin maliyeti için, biliyorsunuz, efektif maliyet vermiştim. Etkif maliyet, çıplak maliyetin yanısıra, çevre zararlarından dolayı meydana gelen maliyetin de eklenmesi koşuluyla bulunan maliyet idi. Yalnız, hidrojenin çevre zararı olmadığı için, gigajulu şu anda 13 dolara mal olmaktadır. Çıplak maliyet olarak, doğalgazdan dediğim gibi, koşullara göre değişiyor. 1.5 ila 3.7 kat daha pahalı. Aynı şekilde diğer petrol ürünlerinden de 1.3 kat daha pahalı gözüküyor, kömürden, 4.7; 5.8; yani, 5-6 kat daha pahalı gözükmektedir, çevre zararlarını göz önüne almayacak olursanız; ama, fosil yakıtların yerine getirdiği çevre zararını ki, dünyanı brüt ekonomik üretiminin yüzde 14.'üne vardığını belirtmiştim, göz önüne katacak olursanız, hidrojen çevre maliyeti bakımından, şu anda uygun gözükmekte, böyle olmakla birlikte, hidrojen için ,maliyet açısından ulaşılan sınır benim bildiğim kadarıyla yeterli görölmüyor, hidrojen enerjisiyle ilgili gelişmeleri muntazaman takip ederim. Çıktığından beri hidrojenenerjisi ile ilgili Hydrogen Energy adlı periyodini bütün sayıları kütüphanemde vardır. Oradan edindiğim bilgiye göre söylüyorum. şu anda hidrojen maliyetinin bugünkünün yarısı düzeyine indirilmesi istenilmektedir.

Öte yandan, Sayın Kemal Koman'ın sorusunda, hidrojen neden yaygın olarak kullanıldığı konusu da sorulmuş. Hidrojenin kullanılması, enerji sisteminde köklü bir değişlik oluşturacaktır. Mevcut enerji sisteminin köklü biçimde değiştirilmesi, tabii,

ekonomiye direkt olarak bağlantılı bir durum ve bugünkü ortamda hemen yapılabilecek bir eylem değildir.

Yine, Sayın Mustafa Mendilcioğlu konuşmasında dedi ki, her dönemde yeni yeni enerjiler ortaya çıkarılmıştır. Yapılan ekonomik incelemelere göre, dünyada 5 tane ekonomik ve teknik dalgalanma olmuş. Her teknik dalganın tabanında da belli bir enerji kaynağı eses rol almış, sanayi devriminden bu yana. İşte, başlangıçta kömürmüş, ondan sonra, sırasıyla, elektrik ikinci kaynak ve ekonomi geliştirici bir faktör olmuş - petrol motorları çıkmış, petrol dünya enerji bütçesinde büyük yer tutmuş ve nükleer enerji, ekonomiyi itici, kamçılıyıcı bir faktör oynamış. Fakat, 1970'li yıllarda bu dalgalanmaların hepsi bitmiş, ondan sonra yeni bir sistemle birlikte yeni bir ekonomik ve tekni bir dalgalanmanın başladığı ve bunun, 2000'inin öneresinde biteceğinin bilinmediği belirtiliyor. Literatürlerde söylenen bu. Bu son teknik dalgalanmanın, beşinci teknik dalgalanmanın tabanında yatan enerji kaynakları, temiz enerji kaynakları, yani yenilenebilir enerji dediğimiz güneş, rüzgar ve yakıt olarak da hidrojen yer almaktadır. Orada hidrojen, solar hidrojen olarak da geçmektedir; yani güneşe dayalı şekilde hidrojen üretimi temel alınmaktadır. Gelişme sürecindeki ülkeler içinde hidrojenin, özellikle güneşten elde olunacak elektrikle, fotovoltaiik panellerden sağlanacak elektrikle üretimi uygun görülmekte ve önerilmektedir. Güneş-Hidrojen sistemi üzerinde önemle durulmaktadır.

Sayın Başkan, sunum için süre vermedi; ama, 5 dakika içerisinde belki Sayın Muhammet Eltez'den Almanya'daki hidrojen çalışmalarını dinleyebilirdik; o konuda bazı slaytlar gösterebilirdi. Bu konuda çok ciddi, çok önemli çalışmalar yapılmaktadır. Kendisi, dediğim gibi, Almanya'da bir hidrojen laboratuvarında uzun süre çalışacak herhalde, o laboratuvar incelemesinden yeni dönmüştü.

Öbür taraftan, bir diğer soru Sayın Orhan Yesin Hocadan gelmiş. Güvenli hidrojen depolaması nasıl oluyor diye Hocamız bana soruyor. Sayın Hocamız bunu herhalde biliyordur. Ben şahsi kanımı söylüyorum: Bence, güvenli hidrojen depolaması Sayın Hocam, hidritleşme biçiminde temin edilecektir. Çünkü, sıvı şekilde tankta depolansanız da, bir kaza anında - hidrojenin patlaması açısından demiyorum-heman ortaya yayılabiliyor; ama, çevredeki sıcaklığın çok düşürülme tehlikesi de var. Buna karşılık, hidrojen depo tanklarının güvenliğinin de çok artırıldığı söyleniyor. Yalnız güvenliği çok artırılmış olan tankların otolarda fazla yer kapsama sından şikayet ediliyor. Ben, hidritleşme üzerinde duyuyorum. Daimler Benz'in yapmış olduğu Mercedes marka otobüste, minibüste ve bir de pikap araçta hidritleri kullanmışlardı. Gerçi, hidritlerde bazı verim düşüklüğü olmakla birlikte, sistem kullanıma uygun. Hidrid depolamada herhangi bir şekilde kaza ihtimali de ortada yok. Çünkü kullanabileceğiniz kadar hidrojeni hidritten, egzostan aldığınız ısı ile veyahut da soğutma suyundan aldığınız ısı ile ayılabiliyorsunuz, kullanıyorsunuz. Benim şahsi görüşüm hidritlerin daha güvenli olduğu yolunda.

Bunun dışında başka soru yok.

Sayın Başkan Muhammet Beye 2 dakika söz verelim, bir iki slayt gösterebilirsin, Almanya'daki güne-hidrojen üretimi konusunda.

Bütün arkadaşlar hidrojen konusuna merak ettikleri ve bu alandaki gelişmeleri görmek istedikleri için ben bu konuyu sundu; hatta, özel talep üzerinde sundum.

Teşekkür ederim.

TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİSİ KULLANIM PROGRAMI

Dr. Tanay Sıdkı Uyar

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Rüzgar Enerjisi Komisyonu Üyesi

Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği Yönetim Kurulu Üyesi

Kocaeli Üniversitesi Öğretim Üyesi

ÖZET

Yeryüzünde insanların yaşaması için elverişli hacimlerin sınırlı olması ve dünya nüfusunun sürekli artması suncu birim insan başına düşen yaşam hacmi giderek daralmaktadır. Geleneksel olarak kullanılmakta olan nükleer, petrol, kömür ve doğal gaz benzeri enerji kaynakları yeryüzünde insanların yaşaması için elverişli koşulları ortadan kaldırmaktadır.

Ülkesinin sınırlan içinde yaşayan tüm insanların geleceği konusunda duyarlı sosyal devletlerde, kamu girişimciliğiyle, gelecek nesillerin sağlıklı yaşaması için önlemler alınmaktadır.

Tüm sermayesini halen kullanılmakta olan ve doğal çevreyi tahrip eden enerji teknolojilerine yatırmış olan ve bu teknolojilerin neden olduğu sorunları çözecek yeni teknolojilerin gelişip serpilmesini istemeyen ve kazancını mevcut olumsuz yapının ve alışkanlıkların sürmesinde gören kişi ve kuruluşlar yeniye ve güzele olan direnişlerini sürdürmektedirler.

1992 yılında Brezilya'da gerçekleştirilen Rio Konferansı'nda birleşmiş Milletler, insan etkinliklerinden kaynaklanan iklim değişikliğinin önlenmesi için, tüm dünya ülkelerinin yöneticilerini sanki ülkeleri bir sosyal devletmiş gibi davranmaya davet etmiştir.

Rio'da imzaya açılan Birleşmiş milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ni imzalayan ve ciddiye alan ülkeler, fosil ve nükleer yakıt kullanımını en aza indirme ve esas olarak da karbondioksit emisyonlarını azaltmak amacıyla, doğal çevrede enerji üretim teknolojilerinin kullanım programlarını oluşturmaya başlamışlardır.

Doğal Çevrede Enerji Üretim teknolojileri arasında en hızlı teknolojik ve ticari gelişme rüzgar güç santrallerinde gerçekleşmiştir. 1996 yılı sonu itibarıyla rüzgar güç santralleri dünyadaki toplam kurulu gücü 6000 MW'ı aşmıştır. Günümüzde 1.5 MW kapasiteli modern rüzgar türbinleri piyasada satılmaktadır. Almanya'da son iki yılda tesis edilen rüzgar türbinleri kapasitesi 2000 MW'a yaklaşmıştır.

Almanya'da 1989 yılında hükümet eliyle 250 MW kapasiteli gösterim programının oluşturulması ve 1 Ocak 1991 tarihinde rüzgardan elde edilen elektriğin elektrik şirketlerince sa-

tın alınması zorunluluğunun getirilmesi, rüzgar enerjisinin elektrik üretiminde yer almasını sağlayan önemli kamu girişimleri olmuştur.

Bugün ülkemizde yatırımcılar kendi rüzgar ölçümlerini yapıp, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'na başvurarak 3096 sayılı yasa çerçevesinde rüzgar güç santralleri kurmak için girişimde bulunmaktadırlar. Bu ise rüzgardan elektrik üretimi için pek çok elverişli yöreye sahip ülkemizde potansiyelin yeterince hızlı ve etkin biçimde değerlendirilmesine yetmemektedir.

Gökçeada, Çeşme ve Bodrum gibi yörelerimizde çeşitli kişi ve kuruluşlarca ayrı ayrı rüzgar ölçümleri yapılmaktadır.

ETKB ve ilgili kamu kuruluşları oluşturulacak bir Rüzgar Enerjisi Kullanım Programı çerçevesinde Türkiye'de rüzgar santralleri kurmaya elverişli konumları belirlemelidir.

Bu tebliğde kısa ve uzun vadeli bir Türkiye Rüzgar Enerjisi Kullanım Programının oluşturulması için atılabilecek adımlar tartışılacaktır.

BİRLEŞMİŞ MİLLETLER İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ÇERÇEVE SÖZLEŞMESİ

Güneşten gelen ek ısının atmosferinin dışına yansımalarının engellenmesine yol açan sera gazı etkisi eskiden beri bilinmekte olsa da 1990'lı yıllarda dünyanın yoğun olarak tartıştığı bir konu haline dönüşmüştür. Seragazı-etkisini dünyanın iklimini değiştireceği ve yeryüzünü insanlar için yaşanabilir olmaktan çıkabileceği bilimsel çevrelerde genel kabul görmektedir, bu nedenle 1992 yılında Rio'da Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi isimli bir belge tüm dünya ülkelerinin imzasına açılmıştır. Amaç dünya ülkelerini, dünyayı tehdit eden sera gazı etkisine neden olan CO₂, metan ve diğer gazların atmosferde birikimini önlemek üzere, ortak değerlendirmeler ve uygulamaların gerçekleştirilmesi için bir araya getirmektir. Ülkemizin bu sözleşmeyi imzalamasını öneren Bakanlar Kurulu kararı TBMM Çevre ve Dışişleri Komisyonunda kabul edilmiş olup TBMM Genel Kurulu'nda görüşülmek üzere beklemektedir.

BM İklim Çerçeve Sözleşmesini imzalayan ülkeler kendi enerji sistemleri ve ekonomik etkinliklerini, küresel felaketleri önlemek amacıyla, yenede düzenlemek niyetinde olduklarını dile getirmekteydiler.

DOĞAL ÇEVREDE ENERJİ ÜRETİMİ

Teknolojik gelişmeler yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji eldesinde düşük maliyetleri ve yeni teknolojileri ortaya çıkartmaktadır. Enerjinin yenilenebilir kaynakları hiç bir se-

ragazı emisyonuna neden olmadan kullanılabilir.

Hidrolik santrallardan üretilen elektriğin tüketiciye sunuş maliyeti muhtelif 70 gelişmekte olan ülkedeki yatırım maliyetleri dikkate alındığında 7.8.(\$/kWh mertebesindedir.

Biyokütle enerjisi bitkilerde tepolanan kimyasal enerjinin değerlendirilmesidir. Potansiyel biyokütle kaynakları olarak şehir katı atıkları, endüstriyel ve tarımsal atıklar, mevcut ormanlar ve enerji ekinleri sayılabilir, biyokütle üretim maliyetlerinin 2\$/Giga Joule olduğu varsayımıyla ve küçük ölçekli üretim için, elektrik üretiminin maliyeti 10-15 \$/kWh olarak hesaplanmaktadır.

Günümüzde güneş pilleri yardımıyla güneşten enerji üretim sistemi yatırım maliyetleri 7000-10000 \$/kW olup karşılık gelen elektrik maliyeti 23-33\$/kWh olmaktadır. İyimser tahminlere göre 202 - 2030 yıllarında güneş pili yatırım maliyetleri 700 - 800 \$/kWh, elektrik maliyetleri 2.2 - 4.4 \$/kWh mertebesine düşecektir. Güneş ısıl elektrik sistemleri dünyanın elektrik ve enerji talebinin önemli bir kısmını sağlayacak uzun vadeli bir potansiyele sahiptir. Güç kulelerinin ticari kullanıma sunulduklarına 4-6 \$/kWh düzeyinde enerji maliyetlerine sahip olması beklenmektedir.

Jeotermal enerjiden elektrik üretimi 21 ülkede gerçekleştirilmiştir. Bu kaynaktan elektrik üretim maliyeti 4\$/kWh olarak öngörülmüştür.

Kesikli rüzgar enerjisi büyük bir şebekede depolama, yedekleme ve yük yönetimi için özel düzenlemeler gerektirmeden yıllık elektrik üretimini % 15-20'sini karşılayabilmektedir. Rüzgar gücünden enerjinin maliyeti yerel koşullara ve rüzgarın gücüne göre farklılaştırmaktadır. 2005-2010 yıllarında rüzgar enerjisi fosil ve nükleer güç ile daha büyük ölçekte rekabet edebilecektir. Ortalama yeni bir teknoloji için, yatırım maliyeti 1200 \$/kW ve elektrik üretim maliyeti ise 6\$/kWh olarak hesaplanmaktadır. Gelecekte maliyetlerin 3.2\$/kWh'e düşeceği öngörülmektedir.

ABD için yapılan değerlendirmelere göre yenilenebilir enerji (hidrolik dışında yeni teknolojilerinin) ve kömürden elektrik üretim maliyetleri (<\$/kWh) gelecek yıllarda şu şekilde gerçekleşecektir.

	RÜZGAR	JEOTERMAL	BİYOKÜTLE	PV	GÜNEŞ ISIL	ATIK	KÖMÜR
1995	5.3	5.2	8.5	21.8	10.5	8.2	5.4
2000	4.1	4.0	8.1	16.4	8.6	8.2	5.4
2005	3.9	3.8	7.5	13.1	8.1	8.2	5.4
2010	3.5	3.7	7.2	8.7	8.1	8.2	5.4

Ancak bu maliyetlere toplumsal maliyetler eklenmemiştir. Farklı enerji santrallerinden elektrik üretiminin yol açtığı toplumsal maliyetler hesaplara katıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarının ve rüzgarlı bölgelerde özellikle rüzgar santrallerinin tercih edilmesi gereken tek üretim biçimi olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır.

Amerika'da 1991 yılında yapılan bir çalışma üretilen birim kWh başına toplumsal maliyetleri ortaya çıkarmıştır. Bu değerler aşağıda verilmiştir.

Kullanılan Enerji Taşıyıcısı	Toplumsal (Dış) Maliyet Aralığı
Kömür	2.8 - 6.8 ¢/kWh
Petrol	3.0- 7.9 ¢/kWh
Gaz	0.78 - 1.1 ¢/kWh
Atom enerjisi	2.91-1.91 ¢/kWh
Rüzgar Enerjisi	0.01 - 0.1 ¢/kWh
Fotovoltaik (PV)	0.00 - 0.4 ¢/kWh

RÜZGAR GÜÇ SANTRAL TEKNOLOJİSİNİN MEVCUT DURUMU

Rüzgar enerjisi MÖ 2000 yılında Mezopotamya gibi en eski insan medeniyetlerinde bile kullanılmış temiz bir tükenmez enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi kullanımı hakkındaki ilk yazılı dokümanlar onuncu yüzyılda Persia'da çıkmıştır. Bugün İran ve Afganistan'da o dönemden kalma tahrip olmuş dikey eksen rüzgar türbinlerine rastlanmaktadır. Modern rüzgar türbinlerinin geliştirilmesi 1973 yılından itibaren hızlanmıştır. Bu geliştirme çalışmaları sonrası aerodinamik verim ve güvenilirlik iyileştirilerek üretilen elektriğin kWh maliyetleri azaltılmıştır. 1975 yılından başlayarak rüzgar türbinlerinin geliştirilmesi iki farklı yol izlemiştir. Bunlardan birincisi hükümetler tarafından maliyetleri karşılanan kurulu gücü en fazla 3 MW olan büyük prototip makinaların tasarım ve tesisidir. İkincisi ise daha ufak türbinlerden (50 kV) başladıktan sonra adım adım büyüyerek 1995 yılında 600 kW gücündeki rüzgar türbinlerini ticari ürün haline getiren ve 1996 yılında ise 1.5 MW büyüklüğünde prototipleri üreten ticari geliştirmedir.

Birinci yol izlenerek üretilen prototiplerin hiçbiri ticari ürün haline dönüşmemiştir. Aksine, özellikle en büyüklerinde, pekçok hata ortaya çıkmıştır, bu programlardan edinilen deneyim ve derslerden yararlanan ticari geliştiriciler büyük rüzgar türbinlerine doğru adım adım ilerlemişlerdir. Pazar tarafından yönlendirilen bu geliştirmenin iki nedeni vardır:

- a) tesis için izin alma zorluğu ile birlikte elverişli konumların azlığı,
- b) türbin etrafındaki engellerin etkisinin azaltılarak elde edilen ürünün arttırılmasıdır.

1995 yılına gelindiğinde egemen tip hala üç kanatlı, güç sınırlaması "stall" ile yapılan, rotor hızı sabit türbindir. Bununla beraber vites kutusuz bir doğrudan sürücü kavramı ile birlikte değişken hız uygulama eğilimi ortaya çıkmaktadır. Bu türbin tipi için güç sınırlaması "stall" denetimi yerine zorunlu olarak pitch denetimi ile gerçekleştirilmektedir. 1996 yılı sonunda pazar durumunu gösteren dünya rüzgar enerjisi kurulu kapasitesi Tablo 1 'de verilmiştir.

Tablo 1 : Tesis edilen rüzgar türbin kapasitesi

Ülke	mevcut kapasite 1996 dahil 2000 yılı tahmini	
	MWe	MWe
ABD	1660	2800
Almanya	1500	2000
Danimarka	840	1000
Hindistan	816	2900
Hollanda	277	500
İngiltere	269	800
İspanya	215	800
İsveç	100	240
Çin	44	730
İtalya	33	300
Yunanistan	28	200
Portekiz	13	60
Fransa	10	50
Finlandiya	8	50
İrlanda	7	150
Diğer	180	1500
Dünya Toplamı	6000	14.080

RÜZGAR ENERJİSİ VE ELEKTRİK ÜRETİMİ

Rüzgar gücü en maliyet etkin ve çevreyi kirletmeyen tükenmez enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi dünyanın atmosferi tarafından kinetik enerjiye dönüştürülmüş güneş enerjisidir.

Rüzgar enerjisi hareket halindeki havanın kinetik enerjisidir.

Rüzgar Endüstrisinin 1980'lerde yeniden doğuşu anlatılmamış bir başarının hikayesidir. Amerika'da vergi kredileri ile desteklenen ve mümkün olan bu gelişme 1980 ve 1990 yılları arasında rüzgar türbinlerinin maliyetlerinin % 80 azalmasına yol açmıştır. 1989 yılında California Enerji Komisyonu yatırım, yakıt ve işletme maliyetleri santralların tüm ömür süresi için değerlendirilğinde, rüzgar enerjisinin tüm diğer konvansiyonel güç kaynaklarından daha ucuz olduğu sonucuna varmıştır. 1989 yılında California'da bulunan rüzgar santral grupları San Francisco kentinin bir yıllık ihtiyacına yetecek miktarda elektrik üretmiştir.

Sanayi devriminin arkasındaki itici güç kömür ve yirminci yüzyılın yakıtı petrol iken, başta rüzgar enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişmesi kaçınılmaz olarak fosil yakıt çağının sonunu hazırlamaktadır. Bir yenilenebilir enerji geleceğinin yaratılması, belki de çocuklarımıza ve onların çocuklarına ümit dolu bir gelecek ve sınırsız olanaklar aktarabilmemiz için son ve en iyi şansımızdır.

Rüzgar gücünün üstünlüklerini ise şöyle sıralayabiliriz:

- a) Herhangi bir radyoaktif ışınım tahribatı yaratmamaktadır.
- b) Enerji ücretsiz olup taşınma maliyetleri yoktur ve herhangi bir atık üretmemektedir.
- c) Atmosfere veya yakındaki nehir ve denizlere ısıl emisyonları bulunmamaktadır.
- d) Rüzgar türbinleri güvenlik açısından başarılı bir geçmişe sahiptir. Kullanım sonrasında tasfiye edilmeleri diğerlerine göre çok kolaydır.
- e) Rüzgar bir yerli enerji kaynağıdır ve dünya enerji pazarlarından büyük ölçüde bağımsız olma özelliğine sahiptir.
- f) Teknolojinin tesisi ve işletilmesi göreceli olarak basittir.
- g) Rüzgar türbinleri modüler olup herhangi bir büyüklükte imal edilebilmekte ve tek olarak yada gruplar halinde kullanılabilirlerdir.
- h) Rüzgar türbinlerinin işletmeye alınması, inşaatın başlamasından ticari üretime geçişine kadar, üç ay gibi kısa bir sürede gerçekleştirilebilir.

TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİSİ KULLANIM PROGRAMI

İnsan etkinliklerini gerek duyduğu enerjiyi karşılamakla beraber doğal çevreyi kirleten enerji türlerinden insanoğlunun vazgeçebilmesi için, öncelikle doğal çevrede enerji üretim teknolojilerine yaşam hakkı verilmelidir. Temiz enerji üreten yatırımcı, temiz enerji üretmenin getireceği ek maliyet için, kendi ayakları üstünde durabilme gücüne erişene kadar kamu kaynaklarından desteklenmeli ve teşvik edilmelidir. Kamu girişimi, desteği ve denetimiyle uygulanmasını önerdiğim Türkiye Rüzgar Enerjisi Kullanım Programının konu ile ilgili tüm birey

ve kuruluşları bünyesinde toplayan Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği önderliğinde ilgili diğer birey ve kuruluşların katılımı ile oluşturulabileceği kanısındayım, Türkiye Rüzgar Enerjisi Kullanım Programının hayata geçirilmesi için elverişli koşulların hazırlanması amacıyla

1. Tüm diğer dünya ülkelerinde olduğu gibi rüzgar enerjisinden elektrik üretimi hükümetlerin yaygın olarak kullanımını teşvik ettiği teknolojiler arasında değerlendirilmelidir.

2. Çevreci kişi ve kuruluşlar rüzgar enerjisinin doğal çevrede enerji üretimi konusunda yardımcı olabileceği konusunda bilgilendirilmelidir.

3. Rüzgar enerjisi santrallerinden elektrik üretim esaslarının düzenleyen özel bir kanun TBMM'den geçirilmelidir. Rüzgar enerjisi diğer çevre dostu olmayan enerji kaynakları ile bir tutulup değerlendirilemez. Rüzgar kaynağının özelliği nedeniyle, rüzgar enerjisi enerjinin kamu kuruluşları dışında üretilip, kamunun kullanımına sunulabilmesi için elverişli koşullara sahiptir.

4. Rüzgar santrallerinin ticari kullanıma girmesini engelleyen tüm kurumsal engeller ve belirsizliklerin belirlenmesi ve ortadan kaldırılması için yasal düzenlemelere yapılmalıdır.

5. Ülkemizde gelecek yıllarda kullanılacak enerji teknolojileri değerlendirilirken çevresel kısıtlar ve aday teknolojilerin neden oldukları toplumsal maliyetler de değerlendirme kapsamına alınmalıdır.

6. Halen kullanılmakta olan çevreyi kirleten ve ürettiği birim enerji başına yüksek enerji tüketen teknolojilerin olumsuzluklarını ortadan kaldırmaya aday olan rüzgar güç santrallerinin ülkemizde üretilmesi ve kullanılmasına yönelik araştırma ve geliştirme çalışmaları Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı, TÜBİTAK ve Devlet Planlama Teşkilatı araştırma fonlarınıca desteklenmelidir.

7. Türkiye'nin tüm yüzeyi incelenerek rüzgar türbin çiftlikleri kurulabilecek alanlar tespit edilmeli ve seçilecek bölgelere rüzgar çiftlik alanları kurmak üzere kamu eliyle girişimler başlatılmalı ve kaliteli hizmeti en ekonomik olarak sağlayan yatırım ve işletmecilerin üreteceği elektrik, elektrik şirketince satın alınırken, ödenecek ücret diğer enerji teknolojilerinin doğaya ve insanlara vererek yol açtıkları toplumsal maliyetler gözönüne alınarak belirlenmelidir. Doğal çevre ve insanlara hiç bir olumsuz etkide bulunmayan rüzgar enerjisinin daha çok kullanımını özendirilmelidir.