



TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU
ÇEKMECE NÜKLEER ARAŞTIRMA VE EĞİTİM MERKEZİ

Ç.N.A.E.M. T.R: 324

ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI

JEOTERMAL ENERJİ

GÜNEŞ ENERJİSİ

RÜZGAR ENERJİSİ

P.K. 1, 34831 Hava Alanı, İstanbul

Basım tarihi: Mayıs 1995



TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU
ÇEKMECE NÜKLEER ARAŞTIRMA VE EĞİTİM MERKEZİ

Ç.N.A.E.M. T.R: 324

ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARI

JEOTERMAL ENERJİ

GÜNEŞ ENERJİSİ

RÜZGAR ENERJİSİ

P.K. 1, 34831 Hava Alanı, İstanbul

Basım tarihi: Mayıs 1995

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM

1 - JEOTERMAL ENERJİ	1
(Adem ERDOĞAN, Ulvi ADALIOĞLU)	
2 - GÜNEŞ ENERJİSİ	2
(Ethem ALAÇÖZ, Sinan TAYLAN)	
3 - RÜZGAR ENERJİSİ	3
(Sinan TAYLAN, Hakan ANAÇ, Arif İŞYAR)	

TAEK
EKMECE NKLEER ARAřTIRMA VE EēİTİM MERKEZİ

JEOTERMAL ENERJİ

Adem ERDOēAN, Ulvi ADALIOēLU

(NAEM Nkleer Enerji alıřma Grubu iin hazırlanmıřtır.)

ZET

Alternatif enerji kaynaklarından biri olan jeotermal enerji lkemiz iin olduka mit verici bir potansiyele sahip grnmektedir. Gerek evre gerekse de enerji aıēı bakımından bir enerji retim opsiyonu olabilir. Bu rapor dnyada ve Trkiye’de bu kaynaēın enerji retim alanları, handikapları, retim potansiyeli gibi konularda bilgileri ihtiva etmektedir.

Aralık 1993

JEOTERMAL ENERJİ¹

Adem ERDOĞAN², Ulvi ADALIOĞLU³

1. GİRİŞ

Yerin derinliklerinden yeryüzüne doğru ortalama olarak saniyede santimetre kare başına 1.5 mikrokalorilik ısı yayılır. Bu miktar bir yıl boyunca bütün yeryüzü için 10^{20} W kaloriye karşılık gelir. Ancak jeolojik bazı işlemler sonucu yer katmanlarında biriken miktarın dışındaki enerji kullanılamaz.

Jeotermal sistemler yer kabuğunun üst birkaç kilometresinde oluşurlar. Çözünmüş halde mineral ve tuz içeren jeotermal sıvıların yoğunlukları düşüktür. Geçirgenliği olmayan bir kaya tabakası ile yüksek sıcaklıktaki yer arasında kalan sıvıların oluşturduğu bu sistemler önemli bir enerji kaynağıdır.

Jeotermal sistemler buhar ve sıvı ağırlıklı olmak üzere iki grupta toplanırlar:

Buhar ağırlıklı sistemler

30-35 bar basınç altında yaklaşık 250°C de buhar sıvı karışımından oluşurlar. Genellikle, birkaç binden 250 000 kg/saate kadar değişen bir akış 1 000-2 500 metre derinlikten gelir.

Sıvı ağırlıklı sistemler

İçerdikleri entalpi değerinin 200 kalori/gramın üstünde ve altında olmasına göre ikiye ayrılırlar. Yüksek entalpili jeotermal sıvılar 100-250 bar basınç altında ve 200 ile 388°C arasında sıcaklıkta bulunurlar.

Jeotermal sıvılar 2 000-260 000 ppm arasında çözünmüş katı içerirler. Bunlar klor, sülfat, karbonat, sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve bor gibi katılardır [1].

İçerisinde büyük miktarlarda katı bulunduran jeotermal sıvılar çevreye zararlıdırlar. Bu nedenle, jeotermal enerji çevreye etkisi olmadığı yönündeki yaygın kanıya rağmen

¹ ÇNAEM Nükleer Enerji Çalışma Grubu için hazırlanmıştır.

² ÇNAEM Nükleer Mühendislik Bölümü

³ Dr., ÇNAEM Nükleer Mühendislik Bölümü Başkanı

dikkatli bir şekilde kullanılmalıdır. Ancak, içerisindeki aşındırıcı ve çevreye zararlı katılar etkisiz hale getirildiğinde, jeotermal sistemleri elektrik üretiminde ve ısıtmada güvenilir bir şekilde kullanmak mümkündür [2,3,4].

Yüksek entalpili sistemlerden elde edilen jeotermal sıvı, buhar olmayan kısmı ayrıştırıldıktan sonra doğrudan ve ikincil bir su çevirimi ile dolaylı olarak bir jeneratör aracılığı ile elektrik üretiminde kullanılır.

Düşük entalpili jeotermal sistemler, genellikle ısıtmada kullanılmakla birlikte ikincil çevirimde florokarbon veya hidrokarbon gibi kaynama noktası düşük organik bir sıvı ile elektrik üretmekte yararlı olur.

İçinde yüksek oranda çevreye zararlı katı barındıran jeotermal sıvılar kuyu içi eşanjör sistemi ile kullanılır [2].

2. DÜNYADA JEOTERMAL ENERJİ

Jeotermal enerji yeni bir ilgi alanıdır. Özellikle II. Dünya Savaşından sonra jeotermal kapasite kullanımı büyük bir artış göstermiş ve kurulu kapasite olarak 1990'da 5 984 MW elektrik ve 11 385 MW termal güce ulaşmıştır [5].

1990'da dünya jeotermal enerji durumu ve 1989 verilerine göre yenilenebilir enerji kaynakları ve bunların içinde jeotermal enerjinin potansiyelleri Tablo-1,2 'de görülmektedir.

Tablo-1 Dünya Jeotermal Enerji Durumu (1990)

	Kurulu Güç		Enerji Üretimi		Toplam GWh/Yıl
	Elektrik direk (MWE)	(MWt)	Elektrik Direk GWh/Yıl	GWh/Yıl	
TOPLAM	5 984	11 385	35 385	35 417	70 800

KAYNAK: WEC Survey of Energy Resources, 1992

Tablo-2 Dünya Yenilenebilir Enerji Rezervleri (1989)

10⁹ WTEP	Teorik Potansiyel	Teknik Potansiyel	Kullanılır Potansiyel
Güneş enerjisi	19 000	19	0,00001
Rüzgar enerjisi	260	0,8	0,0001
Biogaz	75	1,6	1,26
Hidrolik	4	1,7	0,5
Jeotermik	26	0,5	-
Okyanus ve gelgit ener.	15	0,4	0,001
TOPLAM	-	24	1,7

KAYNAK: WEC Survey of Energy Resources, 1992

3. TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ENERJİ

1962'den beri yürütülen çalışmalar jeotermal enerjinin Türkiye'de önemli bir enerji kaynağı olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Özellikle ısıtma amaçlı birkaç uygulama halen mevcuttur. Batı Anadolu'da Denizli-Kızıldere, Aydın-Germencik ve Salavatlı, İzmir-Seferihisar ve Dikili, Çanakkale Tuzla, Kütahya-Simav, Afyon-Ömer ve Gecek, Manisa-Salihli, Balıkesir-Gönen, Doğu Anadolu'da Sivas-Sıcakçermik, Van-Erciş ve Zilan, Orta Anadolu'da Ankara-Kızılcahamam ve Haymana, Kırşehir-Kozaklı önemli jeotermal alanlardır.

Teorik hesaplar elverişli potansiyelin elektrik üretimi için 4 500 MW, ısıtma için 31 100 MW olduğunu gösterse de, jeotermal sistemlerin yerleri ve içerisinde bulunan katılar gibi sebeplerle pratikte elektrik için 200 MW, ısıtma için ise 1 000 MW civarında olduğu belirlenmiştir.

1984 yılında üretime başlayan 20 MW kurulu gücünde bir jeotermal santral Denizli-Kızıldere'de halen üretimde bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar sözkonusu kapasitenin büyütülebileceğini göstermektedir. Ayrıca, Aydın-Germencik sahasının ise yaklaşık 100 MW civarında bir potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir.

Jeotermal enerji Balıkesir-Gönen, Afyon-Ömer, İzmir Balçova ve Kütahya-Simav'da ısıtma amaçlı olarak kullanılmaktadır [5].

Aşağıdaki Tablo-3 ve Tablo-4 Türkiye'de jeotermal ısı ve elektrik üretim hedeflerini göstermektedir.

Tablo-3 Jeotermal Isı Üretim Hedefleri (MWt)

Yıllar	1989	1990	1991	1992	1993	1995	2000	2010
Balçova	15	20	30	40	40	50	50	50
Gönen	20	20	20	20	25	30	30	50
Kızıldere	1	2	3	10	50	150	150	150
Seferihisar	-	9	18	36	50	100	200	250
Diğerleri	14	19	29	44	135	170	2 570	9 500
Toplam	50	70	100	150	300	500	3 000	10000
Toplam (bin TEP)	37	52	74	110	221	368	2 208	7 350

KAYNAK: MTA Gn. Md.

1 MWt=0,7358x10³ W ton/yıl petrol eşdeğerindedir.

Tablo-4 Jeotermal Elektrik Üretim Kapasitesi (MWe)

Yıllar	1989	1990	1991	1992	1993	1995	2000	2010
Kızıldere	20	20	20	20	20	20	40	40
Germencik	-	-	-	-	55	55	110	110
Tuzla	-	-	-	-	20	20	40	60
Dikili	-	-	-	-	-	20	40	60
Nemrut	-	-	-	-	55	110	220	275
Diğerleri	-	-	-	-	-	-	165	355
Türkiye	20	20	20	20	150	225	615	900

KAYNAK: MTA Gn. Md.

1984-1991 yılları arasında jeotermal enerji üretimi ise Tablo 5 'de görüldüğü gibidir.

Tablo-5 1984-1991 Yılları Jeotermal Enerji Üretimi

Yıllar	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
GWh	22	6	44	58	68	63	80	81

KAYNAK: Genel Enerji Dengeleri, ETKB/APKK/PFD

4. SONUÇLAR

Jeotermal enerji, özellikle ısıtma amacı ile kullanılabilecek önemli bir enerji kaynağıdır. Yerel olarak, sanayi ve yerleşim birimlerinin ısıtılması için ucuz bir kaynak olarak dikkat çekmektedir. Çizelgelerde görüldüğü gibi, potansiyel olarak, büyük miktarlarda elektrik enerjisi üretimi için uygun değildir.

Türkiye’de, yaklaşık olarak 45 MW termal enerji konut ve sera ısıtılmasında kullanılmaktadır [3]. Bu değerler ülke potansiyeli ile karşılaştırıldığında yeterli değildir. Yaygın bir şekilde bulunan düşük ve orta sıcaklıktaki kaynaklardan yararlanma sistemli bir şekilde geliştirilirse bu enerjinin ekonomiye önemli katkı sağlayacağı açıktır.

KAYNAKÇA

- [1] Energy Technology Handbook, Douglas M. Considine, Mc Graw-Hill Book Company, 1977
- [2] Kızıldere Jeotermal Atık Sularında Bor Kirlenmesi Sorunları ve Çözüm Olanakları, O.Recepoglu, Ü.Beker, S.Ökten, A.Çergel, 1990 Enerji Kongresi Bildirisi
- [3] Türkiye’de Jeotermal Enerji ile Konut ve Sera Isıtılmasında Yeni Gelişmeler, M.F.Akkuş, 1990 Enerji Kongresi Bildirisi
- [4] Türkiye’de Jeotermal Enerjinin Elektrik Dışı Kullanım Potansiyeli, Mevcut ve Muhtemel Uygulamalar, Ş.Şimşek, A.Demir, 1990 Enerji Kongresi Bildirisi
- [5] Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi 1991 Enerji Raporu

TAEK
EKMECE NKLEER ARAřTIRMA VE EēİTİM MERKEZİ

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI
GNEř ENERJİSİ

Ethem ALAGZ, Sinan TAYLAN

(NAEM Nkleer Enerji alıřma Grubu İin hazırlanmıřtır.)

ZET

Tm yenilenebilir enerji kaynakları gibi, gneř enerjisi de, insanlıēın enerji problemlerinin zm iin sunduēu cazip potansiyel sayesinde ve evresel problemler yaratmaması ile yakın zamanlarda kayda deēer bir ilgi uyandırmıřtır. Bu popler ilginin kaynaēında ne lde bilimsel verilerin yer aldıēı ise tartıřmalıdır. Bu kısa alıřma, bu konudaki eksikliēi bir lde kapatabilmek daha bilimsel bir deēerlendirmenin zeminini hazırlayabilmek ve Trkiye'nin gneř enerjisi aısından durumunu aıēa ıkarmak zere yapılmıřtır.

Mart 1994

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI¹

GÜNEŞ ENERJİSİ

Ethem ALAGÖZ², Sinan TAYLAN³

1. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi her ne kadar sınırsız bir enerji kaynağı olsa da, doğal halinde düşük yoğunluklu olması nedeniyle, pratik amaçlar için kullanımı gerektiğinde, enerjiyi yoğunlaştırıcı sistemlere gereksinim duyulmaktadır. Her güneş enerjisi sisteminin en önemli bileşeni, toplayıcı yüzeyler olmaktadır. Dolayısıyla, hangi tekniği kullanırsanız kullanın, elde etmek istediğiniz kullanılabilir enerji miktarı arttıkça, gereken yüzey alanı da fiziksel prensip olarak artmaktadır.

Coğrafi konum, bulut, nem ve pusluluk durumu gibi hava koşulları, gece-gündüz farkı gibi sebepler güneş enerjisinin yeryüzüne sürekli ve eşit olarak ulaşmasını engeller. Burada sıralanan faktörlerin de gösterdiği gibi, güneş enerjisinin en önemli özelliği kesintili, yani süresiz bir enerji kaynağı olmasıdır. Bu olumsuzluk, hemen beraberinde depolama sorununu getirmektedir.

2. KULLANIM ALANLARI ve ENERJİ DÖNÜŞÜM TEKNİKLERİ

Günlük yaşamda enerjiyi başlıca iki formda kullanırız: Isı ve elektrik. Çeşitli güneş enerjisi uygulamaları da bu iki forma dönüşüm açısından ele alınabilirler.

Isıl Uygulamalar

Güneş enerjisinin düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları, ev içi uygulamalardan, metalurjik ve kimyasal sanayi uygulamalarına kadar geniş bir alana yayılmaktadır.

Düşük sıcaklık uygulamalarının güzel bir örneği, pasif sistemler olarak da anılan güneş evleridir. Birçok ılıman ve tropik iklim bölgesinde son derece fizibil bir uygulama

¹ÇNAEM Nükleer Enerji Çalışma Grubu için hazırlanmıştır

²ÇNAEM Nükleer Mühendislik Bölümü

³ÇNAEM Reaktör Bölümü

olan güneş evleri, güneş enerjisi dışında hiçbir enerji girdisi olmaksızın, uygun yer seçimi, yüzey şekillemesi, inşaat yönü, pencere ve gölgeleme aygıtlarının en uygun tasarımı, optimum yalıtım ve enerji depolaması için yeterli miktarda termal kütleyle, yıl boyunca konforlu yaşam koşulları sağlayan ev tasarımlarıdır.

Diğer bir uygulama, Türkiye’de de yaygın olan, ev içi kullanım için kollektörler aracılığıyla su ısıtılması uygulamasıdır. Bu alanda düz plaka tipi kollektörler kullanıldığı gibi, parabolik yansıtıcı boru sistemli kollektörler de kullanılabilmektedir; ayrıca çok çeşitli malzeme bileşimleriyle 150-2 000°C’ye varabilen endüstriyel sıcaklıklara çıkılabilmektedir. Ancak güneş enerjisinin endüstriyel ısı uygulamalarında, maliyet açısından kömür ve doğal gazla şimdilik üstünlük sağlaması mümkün görülmemektedir.

Elektrik Üretimi

Güneş enerjisi iki yolla elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir: 1) Dolaylı olarak, 2) Doğrudan (Güneş pilleri).

Dolaylı Üretim (Termik)

Büyük ölçekli elektrik enerjisi üretimi için, tüm geleneksel enerji sistemlerinde (nükleer enerji de dahil) geçerli tek yaygın metod olan termik sistem, aynı şekilde güneş enerjisine de uygulanabilmektedir. Bunun için geliştirilen başlıca iki sistem söz konusudur: a) Kule yöntemi, b) Parabolik yansıtıcı fırın yöntemi. Her iki sistemin de temel prensibi, güneş ışınlarının yansıtıcı odaklayıcı yüzeyler aracılığıyla, bir kazan işlevi gören hazneye odaklanarak buradaki ısı taşıyıcı akışkanı (su, buhar, diğer gazlar ya da organik akışkanlar) ısıtmasıdır. Bu yolla enerjisi artmış olan akışkan, bir türbin aracılığıyla (klasik sistemlerde olduğu gibi) bu enerjisini mekanik ve elektrik enerjisine dönüştürür.

Kule yönteminin bilinen en büyük uygulaması, güney California’da Luz International adlı bir firma tarafından kurulan 354 MW gücündeki güneş santralidir. Aynı firma 320 MW’lık bir başka santralin de kuruluş aşamasındadır. Bu yöntemin özelliği, yüksek bir kulenin tepesine yerleştirilmiş olan bir kazandaki suyun, yer yüzeyinde çok geniş bir alana yayılmış olarak kurulan, ve adına heliostat denilen, çok sayıda ayna aracılığıyla güneş ışınlarının bu kazanda odaklanması sağlanarak ısıtılması ve buhar elde edilmesidir.

Parabolik yansıtıcı fırın tekniği ise, Fransa’da kurulan 1 MW gücündeki sistemde uygulanmıştır. Merdiven şeklinde basamaklandırılmış, bir arazi üzerine kurulmuş çok sayıda güneş izleme yeteneğine sahip ayna, topladıkları ışınları yer yüzeyine paralel doğrultuda yansıtarak 40 m. yüksekliği, 54 m. genişliği ve 18 m. odak uzunluğu olan büyük bir

parabolik aynaya göndermekte ve bu parabolik aynalardan gelen ışınların odak noktasında yer alan ve kazan işlevi gören hazne üzerine odaklamaktadır. Bu teknik, başarıyla uygulanmış olup, kule tekniğine göre daha az yeryüzü alanı kaplamaktadır. Her iki uygulama da çok yoğun güneş alan, yerleşimden uzak, çöl özelliği gösteren alanlarda gerçekleştirilmiştir.

Doğrudan Üretim Güneş Pilleri

Güneş enerjisinin en yaygın ve popüler uygulamaları belki de güneş pilleridir. Fotovoltaik hücreler ya da Fotovoltaikler diye de bilinen güneş pilleri, dijital saatler, kameralar, hesap makinaları ve oyuncaklar gibi küçük ölçekte elektrik gerektiren araçlarda yaygın olarak kullanıldığı gibi, elektrik enerjisi götürülmesinin ekonomik olmadığı uzak yerleşim birimlerinde, yangın gözetleme kulelerinde, radyolink ve TV aktarıcılarında, petrol boru hatlarının katodik korumasında, küçük köy ve mezraların enerjisinin karşılanmasında, deniz fenerlerinde ve küçük ölçekli zirai sulamada kullanılmaktadır.

İtalya ve İspanya'da binlerce ev yakın zamanda Fotovoltaik güç sistemleriyle elektrikleştirilmiş; kırsal tropik bölgede sulamada kullanılmak üzere 3 000 Fotovoltaik pompa kurulmuş ve Polinezya'da da, içinde 6 000 insanın yaşadığı 1 500 güneş evi inşa edilerek oldukça konforlu yaşam koşulları sağlanmıştır. Bu konuda, şebekeye elektrik vermek üzere merkezi fotovoltaik tesisleri geliştirme çalışmaları halen aktif bir şekilde sürdürülmektedir. ABD'de halihazırda 0,7 - 5,2 MW aralığında güç tesisleri çalışır durumdadır. Avrupa'da da 0,3 - 3 MW gücünde tesisler kurulmaktadır.

3. VERİM, MALİYET ve ÇEVRE ETKİSİ

California'da kurulan santralda, üretilen elektriğin maliyeti 0,08-0,1 \$/kWh kadardır. Bu maliyet diğer santral tipleriyle üretilen enerji maliyetleri ile uyumlu bir değer olup maliyetin %75-80'ini aynalar oluşturmaktadır. İşletme açısından son derece geniş bir alana yayılmış binlerce aynanın her birinin bakım ve onarımı, oldukça önemli bir sorun oluşturmaktadır. Özellikle yerleşimden uzak bölgelere kurulması düşünülen bu aynalar sisteminde her bir aynanın yeterli ve sürekli bir odaklama sağlayabilmesi için, rüzgar, kum, toz, dolu gibi sayısız dış etmenlerden etkilenmeyecek şekilde imal ve inşa edilmesi gerekmektedir. Sistemden elde edilen dönüşüm verimi ise California'daki örnekte %22 düzeyindedir. Kapladığı alanın büyüklüğü sistemin çevreye olumsuz bir etkisi olarak

değerlendirilmektedir. Güneş sistemleri, verimin yüksek olması için kurak ve bu nedenle başka amaçlı kullanımı olmayan, çöl özelliği gösteren alanlar için düşünülmekle birlikte kapladıkları alanın büyüklüğü nedeniyle çevrenin ekolojik dengesine olumsuz etkileri göz önüne alınmalıdır.

Çeşitli güneş enerjisi teknolojilerinin kapladıkları yüzeyler Tablo-1 'de verilmiştir. Bu tabloya, bir karşılaştırma olanağı sunması açısından nükleer santrallerin kapladığı alan da eklenmiştir. Tablodaki verilere bakıldığında 1 000 MW gücündeki bir tesisin kaplayacağı alanın yaklaşık 100 150 000 nüfuslu bir yerleşim merkezinin alanı kadar olacağı görülmektedir.

Güneş pillerinden elektrik enerjisi üretim maliyetleri son yirmi yıl içerisinde 30 \$/kWh'tan 0,3 \$/kWh'a kadar inmiştir; bu konuda yapılan çalışmalara göre 2000 yılında bu fiyatın 0,09 \$/kWh'a, 2030 yılında da 0,04 \$/kWh'a düşeceği öngörülmektedir. Yukarıda bahsedilen ABD ve Avrupa'daki güç tesislerinin ürettiği elektriğin fiyatı ise 0,4 \$/kWh ile 1,6 \$/kWh arasında değişmektedir.

1980'li yılların başlarında çeşitli elektrik enerjisi üretim seçeneklerinin karşılaştırmalı birim enerji maliyetleri Tablo-1'de gösterilmiştir.

Tablo-1 Çeşitli güneş enerjisi kullanım şekilleri ve nükleer santrallerin kapladıkları yüzeyler (1 000 MW güç için).

Parabolik yansıtıcı	25,6 km²
Termal kule	30,6 km²
Solar kristal	30,6 km²
Fotovoltaik amorf	62,0 km²
Nükleer santraller	0,4 km²

Fiyat farklılıkları ülkelerin aldıkları ışıınım miktarıyla ilişkili olup ışıınımı fazla olan ülkelerin maliyetleri daha düşük olmaktadır. Örneğin Almanya'daki ışıınım miktarı 3-3,8 kWh/m²/gün iken fiyat 0,45-0,56 \$/kWh olmakta, buna karşın ışıınım miktarının 3,56-5,2

kWh/m²/gün olduğu İtalya'da 0,34-0,48 \$/kWh olmaktadır.

Tablo-2 Çeşitli elektrik enerjisi üretim seçeneklerinin maliyetlerinin karşılaştırılması. Güneş ve rüzgar santralleri için gerekli olan depolama tesisleri de maliyete dahildir (1980).

SANTRAL TİPİ	YATIRIM(\$/kW)	YAKIT (c/kWh)	ENERJİ(c/kWh)
Hidroelektrik	1100-3500	-	2,4-12,7
Dizel	800-1000	4,2-10,9	6,7-13,2
Buhar Çevrimi			
Gaz	800	0,4	2,4
Kömür	1000	2,7	5,2
Fuel Oil	800-1400	5,5	7,5
Jeotermal	1400-2880	-	3,0-6,0
Nükleer	600-2200	1,0	5,1-7,4
Güneş Pili	8000-12000	-	30-50
Güneş (Termik)	2 500-3 000	-	8-12

Güneş pillerinin dönüşüm verimlerindeki gelişme fiyatlardaki gelişmeye paralel bir gelişme göstermiştir. 1954'teki ilk silisyum güneş modüllerinin %6'lık verimlerine karşılık, günümüzde endüstriyel seri üretimde %12,5, laboratuvar koşullarında ise %37'ye (en iyi derece) ulaşılmıştır. Yüksek miktarlarda ve sürekli olarak üretilmesi durumunda bazı tip güneş pillerinin toksik atık problemi yaratacağı düşünülmekle birlikte, bunun ancak belirli (galyum arsenür ya da kadmiyum sülfür gibi) maddelerin kullanıldığı tipler için geçerli olduğu ve çok daha yaygın ve önü açık olan silisyum güneş pilleri için söz konusu olmadığı belirtilmektedir.

4. GÜNEŞ ENERJİSİ ve TÜRKİYE

Avustralya kadar şanslı olmasa da Türkiye güneş enerjisi alma açısından elverişli bir ülke sayılmaktadır. Günlük ortalama ışıınım miktarı Avustralya için 5-6 kWh/m²/gün, kuzey Avrupa içinse 2-3 kWh/m²/gün'dür. Türkiye'nin günlük ışıınım miktarı ise 3-4 kWh/m²/gün'dür. En çok ışıınım alan bölgeler, tahmin edilebileceği gibi güney bölgeler iken, en az alan bölgeler karadeniz kıyıları olmaktadır.

Türkiye'de ticari alana girmiş olan tek yaygın güneş enerjisi uygulaması güneş kollektörleri ile sıcak su üretimidir. Halen 200 civarında firma güneş kollektörleri üretmekte olup, yılda 350 000 m² kollektör tesis kapasitesine ulaşılmıştır.

Güneş pilleri alanında ise, bu konudaki üretim teknolojisini izlemek amacı ile, EİE'ce başlatılan projeler kapsamında 2 Watt gücünde bir güneş pili modülü imal edilmiş, 1 600 Watt gücünde bir güneş pili sistemi kurulmuş, sokak aydınlatması ve küçük ölçekli zirai sulamayla ilgili demonstrasyon projeleri gerçekleştirilmiştir. Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de güneş enerjisi henüz enerji dengelerine büyük bir katkıda bulunamamaktadır. Güneş enerjisinin teknolojik olarak kullanımı Türkiye'de 1986 yılında başlamıştır. 1986-1991 dönemindeki güneş enerjisi kullanımı ki tamamen ısı üretimidir, tablo-3'de görülebilir.

Tablo-3 Türkiye'de güneş enerjisi kullanımı Ton Eşdeğeri Petrol (TEP) olarak verilmiştir (1 TEP = 12 MWh).

Yıllar	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Üretim (bin TEP)	1	3	5	21	9	12

1991 yılında Türkiye'deki toplam enerji arzının 54 500 000 TEP olduğu hatırlanacak olursa oranın düşüklüğü görülebilir.

5. SONUÇ

İçinde güneş enerjisinin de bulunduğu tüm yenilenebilir enerji kaynaklarının günümüzde dünya enerji üretimi içindeki yeri toplam olarak %0,7'dir. Bu konuda geleceğe yönelik tahminler, en azından kısa dönem için, güneş enerjisinin dünyanın genel enerji dengesi üzerindeki etkisinin sınırlı olacağı yönündedir.

Günümüzdeki koşullarda güneş pillerinin kullanıldığı elektrik enerjisi üretim tesislerinin ana elektrik şebekesinin ulaşmadığı veya ulaşmasının güç olduğu bölgeler için ve küçük ölçekli olarak düşünülmesinin uygun olacağı görülmektedir. Geceleri üretimin olmaması, tesisin kurulduğu yere bağlı olarak yıl içinde olabilecek üretim değişimleri bu tesislerin sürekli enerji talebi olan endüstriyel amaçlı uygulamalar için ancak diğer sistemlerle birlikte kullanılabilmesi zorunluluğunu getirmektedir.

Birim enerji maliyetlerine bakıldığında önümüzdeki yıllarda özellikle güneş pillerinde maliyetleri düşürücü yönde gelişmeler beklendiği görülmektedir. Diğer taraftan tesis kapasitelerinin büyümesi, çok büyük bir alana yayılacak olan kollektörlerin işletme (bakım, onarım) zorluklarını beraberinde getirmektedir.

TAEK
EKMECE NKLEER ARAřTIRMA VE EēİTİM MERKEZİ

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI
RZGAR ENERJİSİ

Sinan TAYLAN, Hakan ANA , Arif İřYAR

(NAEM Nkleer Enerji alıřma Grubu iin hazırlanmıřtır.)

ZET

Rzgr enerjisi, alternatif enerji kaynakları ierisinde zerinde en ok durulan seeneklerden biridir. Bu alıřmada rzgr enerjisi konusunda gnmzde yapılan alıřmalar, rzgr enerjisinin verimli olabilmesi iin gerekli olan faktrler zerinde durulmaktadır. Rzgrın hemen hibir yerde srekli ve sabit bir hızda esmemesi rzgr santrallarının tek bařlarına elektrik enerjisi retiminde kullanılmalarına en byk engeldir. Trkiye’de bugne kadar rzgr enerjisi konusunda ciddi bir alıřma yapılmamıřtır. Ancak eldeki meteorolojik verilere gre Trkiye’deki yıllık rzgr hızı ortalamalarının verimli bir uygulama iin yeterli olmadıēı anlařılmaktadır.

Ocak 1994

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI: RÜZGAR ENERJİSİ¹

Sinan TAYLAN², Hakan ANAÇ², Arif İŞYAR²

1. RÜZGAR ENERJİSİ

1980'lerde pilot tesislerden başlayarak prototiplerin ve bunların geliştirilerek ticari tesislerin kurulabileceği görülmüştür. Başlangıçta sadece Danimarka ve ABD'de (California) bu konudaki çalışmalar başlamıştır. Geçtiğimiz 10 yılın sonunda 12'den fazla ülkede rüzgâr enerjisi projeleri programlara alınmış ve 17 000'in üzerinde rüzgâr türbini ile toplam kurulu güç 1 800 MW'ı aşmış bulunmaktadır. Tablo-1'de programlarında rüzgâr enerjisine yer veren ülkelerdeki durum gösterilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları içinde rüzgâr enerjisi en başarılı olan seçenektir.

Tablo-1 Çeşitli ülkelerde kurulu rüzgâr enerjisi tesisleri ve gelecekteki hedefleri.

Ülke	Ulusal rüzgâr enerjisi programı	Kurulu türbin sayısı	Kurulu Güç(MW)
ABD California	2000'de elektrikliğin %10'nun sağlanması	16000	1400(taleb-in %1'i)
Danimarka	1993'de 200MW,2000'de talebin %10'u	2000+	190(taleb-in %1,5'i)
Hollanda	2000 yılında 1 000MW	?	40
İtalya	2000 yılında 300MW	?	2
Almanya	200MW?	?	10
İspanya	1993 yılında 90MW	68	5,3
Hindistan	2000 yılında 5 000MW	250+	35
İngiltere	Belirli bir hedef yok 2000 yılında 1000MW yenilenebilir kaynak	-	-
Yunanistan	2000'de 400MW	15+	2

¹ÇNAEM Nükleer Enerji Çalışma Grubu için hazırlanmıştır.

²ÇNAEM Reaktör Bölümü

Tablodakilerin dışında da olmak üzere birçok Avrupa ülkesi rüzgâr enerjisini programlarına almış bulunmaktadır.

Rüzgâr enerji santralleri, alışılmış elektrik enerjisi santrallerinden bazı yönlerden farklılıklar gösterirler. Rüzgâr enerjisinin özelliğinden dolayı önemli bir düzeyde güç elde edebilmek için çok sayıdaki türbin geniş bir alana yerleştirilir. Her bir türbin fosil yakıtlı veya nükleer santraldaki türbinlere göre çok küçüktür. MW'lar mertebesindeki bir türbin bile nükleer santraldakinin binde biri kapasitesindedir. İkinci özellik ise, tesis için yeterince yüksek rüzgâr hızına sahip bir yerin bulunabilmesidir. Üçüncü olarak, rüzgâr sürekli ve sabit bir hızda esmez; bu yüzden rüzgâr santralleri tek başlarına elektrik enerjisi kaynağı olarak çalıştırılmazlar. Rüzgâr santralleri, farklı elektrik enerjisi santrallerinden oluşan bir şebekenin parçası olarak düşünülebilir.

Rüzgâr enerjisinin güvenilir bir enerji kaynağı olmadığı inanişının yanlış olduğu ortaya çıkmıştır. Zira hiç bir elektrik enerjisi üretim tesisi talep değişimleri ve diğer sebeplerle sürekli olarak %100 kapasiteyle çalıştırılmaz. Bir rüzgâr santralinin karakteristik kapasitesi % 25-40 arasındadır ki bu da bir fosil yakıtlı veya bir nükleer santralin kapasitesinin 1/3'ü veya 1/2'si düzeyindedir.

2. TEMEL KAYNAK

Güneş enerjisinin sadece % 0,25'i dünya üzerinde yutularak havanın hareket eden kinetik enerjisi olarak ortaya çıkar. Rüzgâr enerjisi dünya yüzeyine dağılmış bulunmaktadır. Toplam enerjinin oldukça büyük olduğu bilinmekle beraber gerçek büyüklüğü ve gerçek potansiyel, ilgili yere bağlı çok özel bilgileri gerektirdiğinden bilinmemektedir. Genel rüzgâr verileri meteoroloji istasyonlarından alınabilmekle birlikte bunların yeryüzünün her noktasına konulmuş veri toplama istasyonları olmadığından, belli bölgeler için sınırlı kalmaktadır. Yerel yüzey şekilleri rüzgâr durumunu büyük ölçüde etkilemektedir. Rüzgârdan elde edilecek enerji rüzgâr hızının kübüyle artmaktadır. Bu nedenle yüksek tepeler rüzgâr hızının yüksek olduğu noktalar olarak en uygun yerlerdir. Öte yandan rüzgâr hızındaki küçük değişimler türbin çıkışındaki enerjide büyük değişimlere yol açmaktadır. Sınır tabaka etkisi ile rüzgâr hızı yeryüzünden yükseldikçe de artar.

Bölgenin rüzgâr durumunun değerlendirilmesinde bir diğer güçlük ise, yapılacak bilgisayar modellemesine veri oluşturmak üzere geniş bir alanın çeşitli noktalarına veri

toplama istasyonları yerleřtirilememesinden kaynaklanmaktadır. Bu řekilde bir deęerlendirme iin verilerin en az iki yıl boyunca izlenmesi gerekmektedir.

Elektrik enerjisi etimi iin kullanılabilecek en dřřk rzgr hızı 6,5 m/s dir. Verimli bir uygulama iin rzgar hızının yıllık ortalamasının 10 m ykseklikte 7,5 m/s'nin altında olmaması gerekir. Rzgr santralının kurulabileceęi konumların belirlenebilmesi iin ulusal ve uluslararası dzeyde detaylı rzgr haritalarının hazırlanması gerekir. 1981-1989 arasında Avrupa Topluluęu'ndaki lkeleri kapsayan bir rzgr atlası ıkarılmıřtır. Bunun sonunda 2 000 TWh/yıllık elektrik enerjisinin rzgr yoluyla saęlanabileceęi tahmini olarak belirlenmiřtir.

Bu sonu pratikte imkansız olmakla birlikte Avrupa devletlerinin toplam elektrik enerjisi ihtiyalarının %10-20'sini rzgr enerjisinden saęlayabileceęi dřřnlmektedir.

3. UYGULANAN TEKNOLOJİ

1980 'de California'da kurulan ilk prototipte meydana ıkan byk lde mekanik olan problemlerin oęu giderilmiřtir. Rzgr trbınlerinin verimi son yıllarda byk lde ykseltilmiřtir. California'da 1200-1300 MWh/trbın-yıl kapasiteli trbınler retilenmektedir.

Danimarka'da trbın ıkıř gc arttırılmıř ve nite bařına maliyet, gvenilirlięin ve yerseimi bilgisinin geliřmesiyle de olduka azalmıřtır.

Gnmzdeki rzgr trbini eřitleri, tiplerine gre dik ve yatay eksenli, kapasitelerine gre 500 kW - 1 MW arası byk, 100 kW - 500 kW arası orta, 10 kW civarındakiler kk ve 10 kW'tan kkler de mikro olarak sınıflandırılırlar.

řebekeye dahil edilecek rzgr santrallarında genel olarak orta kapasiteli, iki veya  kanatlı ve yatay eksenli trbınler kullanılmaktadır.

Gnmzde kullanıma bařlanan rzgr trbınlerinde ise trbın kanatları jeneratr ile baęlantılı olarak aılarını deęiřtirebilmekte ve bu yntemle rzgr hızındaki deęiřmeleri karřılayarak sabit hızda dnmelerini srdrebilmektedirler. Bylece sabit trbın hızı ve sabit ıkıř gc saęlanabilmektedir. Her bir trbın bařlama, durdurma, hidrolik mekanizmayla ynlendirme iin elektronik kontrol dzenine sahiptir. Her bir trbinde ayrıca bir arıza anında otomatik durdurma ve frenleme dzeni vardır.

Ekonomi, imalat, yerleştirme ve işletme açısından en uygun türbin olan orta kapasiteli türbinlerin kanat çapları 25-33 m arasındadır. 30 m 'den sonra türbin maliyeti artmaktadır. 20-30 yıllık türbin ömrü içinde kanatlar 2, 3 kere değiştirilebilir. Ancak teknolojinin yeni olmasından dolayı henüz yeterli arıza istatistiği elde edilmiş değildir.

Rüzgâr enerjisi kullanımı için yapılan araştırma ve geliştirme yatırımlarına bakılırsa ulaşılan gelişmenin çok az bir yatırımla gerçekleştirildiği görülebilir. 1977-1989 arasında Avrupa topluluğu bu konudaki ArGe için 45,5 milyon dolar yatırmıştır. Bu miktar toplam yenilenebilir enerji kaynakları için ayrılan miktarın % 14,7'si kadardır.

Amerika'da bu konuda yapılan yatırım ise 1990 yılı için 9,1 milyon dolar, 1981-1990 dönemi için 273,3 milyon dolardır. Bu miktarlar yenilenebilir enerji kaynakları için ayrılan bütçenin %12'si kadardır.

Diğer örneklere de bakıldığında rüzgâr enerjisinin kullanımı için ayrılan ArGe bütçesi nükleer enerji için ayrılan bütçenin yanında küçük kalmaktadır.

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına ayrılan bütçenin azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi de uygulanan teknolojinin olgunluğa ermiş olmasıdır. Ancak rüzgâr enerjisinin kullanımının yaygınlaşması için daha bir süre bu alana yatırım yapılması gerekmektedir. Özellikle çevresel planlama ve büyük türbinlerin geliştirilmesi alanlarında sürdürülmesi gereken araştırma konuları hala vardır.

4. EKONOMİ

Rüzgâr enerjisi tesisinin ekonomisi büyük ölçüde bölgenin şartlarına ve ilk yatırım maliyetine bağlıdır. Elde edilecek enerji rüzgâr hızının kübü ile arttığı için yüksek rüzgâr hızlarında birim enerji maliyeti düşmektedir. 7,5-8,5 m/s rüzgâr hızına sahip bir bölgede elektrik enerjisinin maliyeti 0,0645 \$/kWh olmaktadır. Yeni kömür santrallerinde üretilen enerjinin maliyetinin 0,0675 \$/kWh olduğu düşünülürse rüzgâr enerjisinden elde edilen elektriğin maliyeti alışılmış kaynaklardan üretilen enerji maliyetini yakalamış olmaktadır. Bir rüzgâr santralının ilk yatırımında birim maliyet 1050-1650 \$/kW kadardır. Toplam yatırım maliyetinin %2'si kadar işletme ve bakım maliyeti olmaktadır.

5. ÇEVRE FAKTÖRLERİ

Rüzgâr enerjisinin kullanımına bir diğer engel de çevre etkileridir. Toprak alanının sınırlı olduğu durumlarda rüzgâr enerjisi kullanımında kaplanacak alan çevre açısından problem olmaktadır.

Bunun yanında, her ne kadar rüzgâr jeneratörleri çevre için bir kirlenme yaratmıyorsa da yakın çevre için görsel, gürültü, güvenlik, elektromanyetik girişim ve doğadaki yaşamın etkilenmesi gibi sorunlar vardır. Bu yüzden yer seçiminde bu kriterleri de içeren bir düzenlemenin hazırlanması gerekmektedir.

Bir rüzgâr santrali, çok sayıda türbin kulesinin açık arazide yer almasıyla oluşur. 250 kW gücünde orta büyüklükteki bir rüzgâr türbini 30 m'si pervane yüksekliği olmak üzere 50 m yükseklikte, büyük türbinler ise 100m'ye varan yüksekliklerde kuleler üzerinde 40 km uzaktan görülebilecek yapılardır. Rüzgâr türbinleri birbirlerinin çalışmalarını etkilememek üzere 5-15 pervane çapı kadar aralıklı yerleştirilirler. Bu da geniş bir toprak alanının bu yapılarla örtülmesi demektir.

Gürültü, rüzgâr santrallerinde özellikle nüfus yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde ortaya çıkan bir sorundur. Gürültü genel olarak dönme sırasında türbin kanatlarından ve türbindeki mekanik dişli sisteminden kaynaklanmaktadır. Mekanik gürültü tasarımın geliştirilmesi, iyi bakım ve akustik yalıtımla azaltılabilir. Kanatlardan kaynaklanan aerodinamik gürültü ise değişken hızlı türbinler, ince ve yumuşak türbin kanatları kullanılarak azaltılabilir. Gürültünün etkisi yerleşim alanının yeterince uzağa alınmasıyla azaltılabilir.

Rüzgâr türbinleri de oluşacak bir arıza sonucu tehlike riskine sahiptir. Yapıdan kaynaklanan arıza olasılığı yılda yüzbinde bir olarak oldukça küçüktür. En önemli risk kanatlarda oluşacak buzlanma ve buradan kopacak parçaların uzaklara saçılmasıyla oluşur. Bir türbin parçası ile isabet alma riski 210 m uzaklıkta on milyonda bir bulunmuştur. 300-400 m'lik bir güvenlik bölgesiyle bu sorun çözülebilir.

Rüzgâr türbinleri çalışmaları sırasında radyo dalgalarıyla elektromanyetik girişime yol açabilir. Radyo yayınlarından ziyade uçak kontrol ve haberleşme sistemleriyle oluşabilecek bir girişim önemlidir. Bu girişimden kaçınmak için 1-5 km'lik bir uzaklık yeterli olmaktadır.

Tesis için gerekli yerleşme alanı düşünüldüğünde, bir nükleer güç santralına eşdeğer rüzgâr enerjisi tesisinin kapladığı alan 729 km² dir . Ancak türbinler bu alanın net olarak % 1’ni kaplar. Geride kalan alan tarım ve benzeri amaçlar için kullanılabilir.

Tablo-2 Rüzgâr enerjisinin avantajları ve dezavantajları.

AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
<ul style="list-style-type: none"> - Doğal kaynak olması - Çevre için temiz olması - Tükenmez bir kaynak olması - Yakıt gerektirmediğinden işletme harcamalarının sadece işletme ve bakım olarak sınırlı kalması - Basit teknoloji olması, bunedenle yerli üretimin mümkün olabilmesi - Her boyutta kısa sürede kurulabilmesi 	<ul style="list-style-type: none"> - Büyük kapasiteler için çok sayıda türbin gerektirmesi - Çok sayıda türbin kullanıldığında kaplıyacağı alanın büyük olması - Büyük bir alana yayılmış olan türbinlerin doğal yaşamı olumsuz (kuşlar) etkilemesi - Rüzgâr durumuna bağlı olarak sürekli enerji verememesi; bu nedenle ancak diğer enerji kaynaklarıyla birlikte kullanılabilmesi - Hidrolik gibi diğer doğal kaynakların daha ekonomik olması durumunda tercih edilmemesi

6. TÜRKİYE’DE RÜZGAR ENERJİSİ

Türkiye’de, rüzgâr atlaslarının hazırlanması, toplam rüzgâr enerjisi potansiyelinin belirlenmesi ve ciddi pilot uygulamalar bu güne kadar yapılmamıştır. 1961 yılında bir araştırmaya göre ülkemizde su kuyularında kullanılan 718 adet, elektrik enerjisi üretiminde kullanılan 41 adet rüzgâr türbininin bulunduğu saptanmıştır. Ancak günümüzde bu sayılarda azalma olduğu bilinmektedir.

Elektrik İşleri Etüd İdaresi ile Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünce potansiyel belirleme çalışmaları başlatılmıştır. Türkiye rüzgâr enerjisi ekonomik potansiyelinin saptanabilmesi için, bölgesel nitelikli saatlik rüzgâr verilerinin toplanması gereklidir.

1984 yılında elde edilmiş olan bazı sonuçlara göre, Türkiye genelinde rüzgâr hızı ortalamasının 2,5 m/s ve rüzgâr gücü yoğunluğu ortalamasının 24 W/m² olduğu bulunmuştur. Eldeki bu verilere göre verimli bir uygulamanın Türkiye için gerçekleştirilmesi mümkün görülmemektedir. Ancak kesin sonuçların alınabilmesi için bu alanda çalışmaların sürdürülmesi gerekmektedir. Teknolojiyi izlemek için üniversitelerde bazı proje çalışmaları sürdürülmektedir.