

## JEOTERMAL ENERJİ

### A Saffet DURAK Maden Mühendisi

Son zamanlarda siyasiler, ülkemizin çok yakın bir gelecekte enerji sıkıntısıyla karşı karşıya kalacağını her fırsatta vurguluyorlar. Bunun temel gerekçesi; Orhaneli ve Kemerköy Termik Santralleri'nin işletilmesi karşısında oluşan çevreci toplumsal muhalefeti kırarak sözkonusu iki santralin biran önce ve tam kapasiteyle devreye alınmasını sağlamak. Bir diğer neden de nükleer santral için kamuoyu oluşturmak. Başta EMO olmak üzere bazı sivil toplum örgütleri ise siyasilerin yukarıda bahsedilen gerekçelerini de iyi bildiklerinden haklı olarak bu sava karşı çıkıyorlar. Diğer taraftan ülkemizin kişi başına elektrik tüketimine baktığımızda 1300 kWh/yıl olduğunu görüyoruz ki dünya ortalaması olan 2400 kWh/yıl değerinin neredeyse yarısı kadar. Dolayısıyla en azından dünya ortalamasını yakalamak için enerji üretimimizi arttırmamız gerektiği çok açık. Enerji yatırımının uzun zaman aldığı gözönüne alındığında, yukarıda belirtilen amaçlarla değilse de, ülkemizin gelişmiş ülkeler kadar enerji tüketmesini sağlamak için bir an önce enerji üretimini arttıracak yatırımlara başlanması gerektiği ortaya çıkıyor. Bu bağlamda, jeotermal enerjinin ülkemizin enerji gereksinimine ne oranda ve nasıl katkı koyabileceğini irdelemeye çalışacağız.

#### JEOTERMAL ENERJİ NEDİR?

Tüm dünyada hızlı bir artış gösteren enerji gereksiniminin büyük kısmı, bir süre daha fosil yakıtlar ve hidrolik enerji ile karşılanabilecektir. Fosil yakıtların belirli süre sonunda tükenme olasılığının bulunması ve çevreye olumsuz etkileri nedeniyle alternatif enerji kaynaklarının araştırılması zorunlu olmaktadır. Bunlar içerisinde güneş, biyomas, rüzgar ve dalga enerjileri henüz ekonomik ve ticari anlamda kullanıma sunulmamışlardır. Öte yandan jeotermal enerji ilk çağlardan bu yana ekonomik olarak kullanılmaktadır.

Jeotermal enerji; yer kabuğunun sahip olduğu ısının oluşturduğu, sıcaklığı sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan, çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içeren sıcak su ve buharın taşıdığı enerji olarak tanımlanabilir. Yer kabuğunun derinliklerinde var olan ısı kaynağı; henüz soğumasını tamamlamamış bir magma kütleli veya genç bir volkanizma ile ilgilidir. Yüzeyle kırık ve çatlaklar aracılığı ile derinlere süzülen meteorik sular, bu ısı kaynağı tarafından ısıtıldıktan ve mineralce zenginleştikten sonra yükselirler, yeryüzünde değişik derinliklerde yer alan ve geçirimsiz örtü kayalarla kontrol edilmiş olan gözenekli ve geçirimli hazne kayalarda (rezervuar) birikirler. Bu akışkan, kırık ve çatlak sistemlerinin oluşturduğu yollarla yeryüzüne ulaşarak termalkaynakları oluşturur ya da sondajlarla çıkartılarak ekonomik kullanıma sunulur. Ayrıca bazı alanlarda bulunan "sıcak kuru kayalar (hot dry rock)"da herhangi bir akışkan içermemesine rağmen, jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir (1).

Jeotermal enerji, termal bölgelerde yaşayan insanlar tarafından, ilk çağlardan beri sağlık, banyo ve yiyecek pişirme gibi çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır (2). Gelişen teknolojiye ve enerjiye olan talebin artmasına paralel olarak jeotermal kullanımı da yaygınlaşmış ve çeşitlilik kazanmıştır.- Bunların başında elektrik üretimi, ısıtmacılık ve sanayide çeşitli amaçlarla kullanım gelmektedir. Jeotermal kaynağın sıcaklığına göre kullanım sahalarını gösteren Lindall Diyagramını sayfa 24'te su-

## İ ALTERNATİF Mİ?

nulmuştur(Şekill).

1970'li yıllardan bu yana jeotermal enerji kullanımı yılda ortalama % 10 artmaktadır. Artış hızının bu denli yüksek olması aşağıdaki gerekçelerle açıklanabilir.

- Jeotermal enerjiden elde edilen birim gücün maliyeti, hidroelektrik dışında termik ve diğer santrallara oranla çok daha düşüktür.

- Termik santrallara oranla daha az çevre sorununa yol açmaktadır. Geri basım (geri basım) uygulaması ile bu sorunlar minimum seviyeye indirilmektedir. Yani temiz bir enerji kaynağıdır.

- Son yıllarda geliştirilen "Binary Cycle" ve "Multi Flashing System" gibi yeni teknolojiler ile daha düşük sıcaklıktaki akışkanlardan da elektrik enerjisi elde etmek mümkün olmakta ve santral çevrim verimi artırılarak birim üretim maliyeti daha da aşağıya çekilebilmektedir.

- Doğrudan kullanıldığında veya elektrik üretimi ile entegre olarak geliştirilen sistemlerle jeotermal akışkandan daha fazla termal güç elde etmek mümkün olmaktadır. Santralde belli bir sıcaklıkta atılan akışkan düşük sıcaklık gerektiren alanlarda kullanılabilir.

- Ülkelerin kendi enerji kaynaklarını kullanarak enerjide dışa bağımlılığı azaltmaya yönelmeleri de jeotermal kaynakların kullanımını arttırmaktadır.

- Yenilenebilir oluşu ve yerinde kullanımı mümkün kılan karaktere sahip olması jeotermal kaynaklara ilgiyi arttırmaktadır.

#### ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ

180 °C'nin üzerinde akışkana sahip olan sahalardan elektrik üretimi mümkün olmaktadır. Son yıllarda geliştirilen "Binary Cycle" ve "Multi Flashing System" gibi yeni teknolojiler ile daha düşük sıcaklıktaki akışkanlardan da elektrik enerjisi elde etmek mümkün hale gelmiştir.

Jeotermal Enerjiden elektrik üretimi ilk kez 20. yüzyılın başlarında Larderello Sahası'nda (İtalya) başarıyla uygulanmıştır. Daha sonra başta Yeni Zelanda, ABD ve Japonya gibi ülkelerde olmak üzere geniş bir kullanım alanı bulmuş ve 1992 yılı rakamlarıyla 18 ülkede toplam 58 sahada 6275 MWe kurulu güç kapasitesine ulaşmıştır. Bu kapasitenin ülkelere göre dağılımı aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

#### DOĞRUDAN KULLANIM

İlk çağlarda başlayan jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı, günümüzde çeşitlenerek ve yaygınlaştırılarak önemli bir seviyeye ulaşmıştır. Daha düşük sıcaklıktaki kaynakların kullanımına imkan vermesi, yeni ve yüksek teknoloji gerektirmemesi (mevcut teknolojinin yeterli olması) ve elektrik enerjisi eldesi ile kıyaslandığında termal verimin çok daha yüksek olması (35 °C'ye kadar kullanıma olanağı) gibi nedenlerle gelişimi daha hızlı olmuştur. Bugün 30'un üzerinde ülkede jeotermal enerji ısınma ve diğer amaçlarla kullanılmaktadır ve kurulu güç 13.000 MW'ta ulaşmıştır.

Jeotermal, enerji sağlık, banyo, rekreasyon, endüstriyel proses, tarım ve soğutma gibi çok çeşitli kullanım olanakları sağlıyorsa da, mevcut kurulu gücün büyük bir bölümü konut ısıtmadığında kullanılmaktadır. İlk yatırım maliyetinin yüksekliğine karşın işletme giderlerinin çok düşük olması ve özellikle çevreyi hiçbir kirlenici etkisinin olmaması nedeniyle (geri basım yapmak koşuluyla) geniş bir kullanım imkanı bulmuştur. Bu konuda ilk ve en önemli örnek; İzlanda'nın başkenti Reykjavik şehrinin jeotermal enerji ile ısıtılması uygulaması ol-

muştur. Halen Reyjkavik'in hemen hemen tamamı jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır. Bu uygulamanın başarısı özellikle fosil yakıt kaynakları sınırlı, düşük entalpili jeotermal kaynaklara sahip ülkelerde jeotermal enerjiyi önemli bir alternatif kaynak durumuna getirmiştir.

#### TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ENERJİ

Alp-Himalayalar tektonik kuşağı üzerinde yer alan ülkemiz, jeotermal kaynaklar açısından zengin sayılabilecek bir komunedir. Düşük, orta ve yüksek entalpili olmak üzere bilinen 140 saha mevcuttur. Bunlardan Denizli-Kızıldere ve Aydın-Germencik sahaları klasik yöntemlerle elektrik üretimine uygun sahalardır. Bunların yanısıra Çanakkale-Tuzla, Kütahya-Simav, Aydın-Salavatlı, İzmir-Seferihisar ve Dikili gibi yeni teknolojilerin uygulanması ile elektrik üretilebilecek orta entalpili sahalarda da vardır. Ülkemizde sadece Kızıldere Jeotermal Sahası'nda elektrik üretimi yapılmaktadır.

#### KIZILDERE JEOTERMAL SAHASI

Kızıldere'nin ilk sondaj çalışmaları 1968 yılında başlamış ve 212 °C sıcaklıkta jeotermal akışkan bulunmuştur. MTA'nın dizayn ettiği 0.5 MWe kapasiteli pilot santralin başarılı bir şekilde çalışmasından sonra 20 MWe kapasiteli bir santral 1984

#### Jeotermal Enerjiden Elektrik t

ÜLKE	KURULU GÜÇ (Mwe) (1992)
ABD	2979.2
FİLİBİNLER	893.5
MEKSİKA	725
İTALYA	635.2
YENİ ZELANDA	286
JAPONYA	270
ENDONEZYA	142.8
EL SALVADOR	105
NİKARAGUA	70

yılında devreye alınmıştır. Santralin gereksinim duyduğu buhar 8 üretim kuyusundan karşılanmaktadır. Başlangıçta çeşitli sorunlar nedeniyle düşük kapasitede çalışabilen santral, 1989 yılından itibaren yıllık 75 milyon kWh ortalama üretim değerine ulaşmıştır. Kızıldere Jeotermal Sahası'nda karşılaşılan en önemli sorun kuyu içinde ve yüzey hatlarda meydana gelen CaCO<sub>3</sub> çökmesidir. Bu çökme yılda bir kez yapılan mekanik temizlik ile giderilmektedir. Sahada karşılaşılan bir başka sorun ise; atık suyun içerdiği yüksek oranda bor nedeniyle Menderes Nehri'nde bor kirlenmesine neden olmasıdır. Bu nedenle sulama dönemlerinde DSİ'nin talebi ile santral üretime kapatılmaktadır. Bu sorunun giderilmesi amacıyla Re-enjeksiyon projesi olarak adlandırılan bir proje başlatılmış olup, atık akışkan yeniden rezervuara basılarak hem kirlenme önenecek, hem de rezervuar beslenerek basınç düşümü engellenecektir.

Kızıldere'de üretilen enerjinin birim maliyeti 1994 rakamlarıyla 640 TL/kWh (1.64 cent) olmuştur. Termik santrallerle kıyaslandığında birim maliyet çok düşük olmaktadır (4).

Kızıldere Jeotermal Santrali ile entegre olarak çalışmakta olan C02 tesisleri, santralin atık gazlarından sıvı C02 ve kuru buz üretmekte ve ülkemizin hemen tüm ihtiyacını kar-

#### şılmaktadır.

Türkiye'de jeotermal enerji sağlık ve banyo amaçlarıyla çok uzun yıllardır kullanılmaktadır. Daha sonraları sera ısıtmacılığında kullanılan jeotermal enerji ile ilk konut ısıtmacılığı Gönen'de uygulanmıştır. Bu uygulamanın başarısı sonucu birçok jeotermal kaynak ısıtma amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Bugün ülkemizde 160 MW'lık bir kurulu güç kapasitesine ulaşılmış ve 23.000 konut eşdeğeri ısıtma işletmeye alınmıştır. Ayrıca yaklaşık 600 Mwt kapasitesinde ısıtma projeleri de inşaat veya proje aşamasındadır. Jeotermal enerjinin konut ısıtmacılığında kullanıldığı önemli merkezler Kütahya-Simav, Balıkesir-Gönen, Kırşehir-şehir merkezi, Kızılcahamam, Afyon Oruçoğlu tesisleri, Afyon Ömer Kaplıca tesisleri, Akyazı-Kuzuluk devre mülk tesisleri ve İzmir-Balçova tesisleri ile 9 Eylül Üniversitesi'nin bir kısmıdır. Halen Afyon şehir merkezi, İzmir şehir merkezi, Nevşehir-Kozaklı, Balıkesir-Sındırgı, Afyon-Sandıklı, Kütahya-Gediz, İzmir-Dikili ve Manisa-Salihli gibi sahalarda da konut ısıtmacılığı için çalışmalar sürdürülmektedir. Isıtmacılıkta halen kullanılmakta olan sahal ve kapasiteleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

#### SONUÇ

- Ülkemizin tek jeotermal santrali olan Kızıldere Jeotermal Santralının kurulu gücü 20 Mwe olup yıllık enerji üretimi 75-80 milyon kWh civarındadır. Jeotermal enerjinin ülkemizin enerji

#### 1 Ülkeler ve Kurulu Güçleri (3)

ULKE	KURULU GÜÇ (Mwe) (1992)
İZLANDA	50
KENYA	45
ÇİN	30.8
TÜRKİYE	20
RUSYA	11
FRANSA (GUADELOUPE)	4.2
PORTEKİZ (AZORES)	3
TAYVAN	3
YUNANİSTAN	2
<b>TOPLAM</b>	<b>6275,3</b>

üretiminde % 0,1 payı bulunmaktadır. Germencik sahasında 25 Mwe kapasitesi birsantral kurulması durumunda bu üretimin 200 milyon kWh değerine ulaşması beklenmektedir. Bu rakamlar ülkemizin enerji tüketiminin çok küçük bir bölümüne karşılık gelmekteyse de enerji maliyetinin fasıl yakıt santrallerine oranla çok daha düşük olması, çevre sorunlarının minimum seviyede olması ve kendi doğal kaynağımız olması gibi nedenlerle jeotermal kaynaklardan enerji üretimi ekonomik olmaktadır.

- Ülkemizde yaygın olarak bulunan orta entalpili sahalarda ısıtma ve endüstriyel kullanım gibi amaçlarla doğrudan kullanılması ise termal verimin enerji santrallerine oranla daha yüksek olması nedeniyle çok daha ekonomik olmaktadır. Nitekim ilk uygulamaların yararlarını gören yerel yönetimler jeotermal kaynakların kullanımına hızla yönelmektedirler.

- Yüksek ve orta entalpili sahalarda enerji üretimi ile entegre olarak doğrudan kullanımın yaygınlaştırılması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Örneğin Kızıldere'de ortalama 1000 t/saat 147° sıcaklıktaki atık su kullanılmadan atılmaktadır. Bu atık su ile Denizli'de 20.000 konutun ısıtılması mümkündür.

## KAYNAKLAR

1. Jeotermal Enerji, (1989) MTA Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara
2. Armstead, H.C.H. (1983) Geothermal Energy. E&F.N.Spon, London
3. Koçak, A. Erkan B., Durak S., Tuğran M. (1994) Jeotermal Enerji, MTA Genel Müdürlüğü, (yayınlanmamış rapor)
4. Durak S., Erkan B., Aksoy N., (1993) Kızıldere Jeotermal Sahası Çalışma Raporu.
5. Mertoğlu O., Başarır N. (1995) Geothermal Utilisation and applications in Turkey The 5. Geothermal Energy Congress, Italy.

## Türkiye'de Jeotermal Enerjinin Doğrudan Kullanıldığı Sahalar (5)

Saha	Kapasite (MWt)	Açıklama
Gönen	16.20	1500 konut ve 2000 m2 sera ısıtılması ile 60 tabakhanenin sıcak su gereksinimi
Balçova	17.80	Balçova termal tesisleri ve 9 Eylül Üniversitesi'nin bir kısmının ısıtılması
Kızılcahamam	0.76	Termal tesislerin ısıtılması
Gediz	0.61	Termal tesislerin ısıtılması
Havza	0.07	Termal tesislerin ısıtılması
Afyon-Bolvadin	1.05	Termal tesislerin ısıtılması
Haymana	0.09	Camii ısıtılması
Salihli	0.26	50 otel villasının ısıtılması
Afyon-Omer	2.60	Termal tesislerin ısıtılması
Afyon-Oruçoğlu	2.73	Termal tesislerin ısıtılması
Afyon-Gazlıgöl	0.61	Termal tesislerin ısıtılması
Kırşehir	18.25	1800 konutun ısıtılması
Simav	66.00	6500 konutun ısıtılması
Simav-Eynal	2.20	Termal tesislerin ısıtılması
Rize-Ayder	0.24	Termal tesislerin ısıtılması
Sivas-Sıcak Çermik	0.17	Termal tesislerin ısıtılması
Diğerleri	30.00	Sera ve Termal tesislerin ısıtılması
Toplam	159.67	23.000 konut ve 6000 m <sup>2</sup> sera ısıtılması

Y	°C		
200	Yüksekderişimli çözeltilerin buharlaştırılması		
190	Amonyak absorpsiyonu ile soğutma		
180	Kağıt endüstrisi		
170	Hidrojen Sulfit prosesi ile ağır su eldesi Diyatomit kurutma		Klasik yöntemlerle elektrik üretimi
160	Deniz ürünlerinin kurutulması Kereste kurutulması		
150	Bayer prosesi ile Alüminyum elgesi		
140	Tahıs kurutulması, Konserve yapımı		
130	Şeker artımı için buharlaştırma Buharlaştırma ve kristalizasyon ile tuz eldesi Saf su eldesi		
120	Çeşitli amaçlarla buharlaştırma Tuzluluk oranının artırılması		
110	Çimento kurutulması		
100	Organik maddeler, yosun, ot, sebze vs. kurutma, Yün yıkama ve kurutma		
90	balık kurutma, buz çözme		
80	Konut-sera vs. ısıtıcılığı		
70	Soğutma alt sınırı		
60	Hayvan çiftlikleri Konut ısıtmasıyla entegre sera ısıtıcılığı		
50	Mantar üretimi, Kaplıcaçılık		
40	Toprak ısıtma		
30	Yüzme havuzu, çürütme, fermantasyon Buz çözme, soğuk iklimlerde madencilik işlemleri için ılık su eldesi		
20	Balık üretim çiftliği		

Şekil 1- Çeşitli uygulamalar için gerekli jeotermal akışkan sıcaklıklarını gösteren