

TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ENERJİ ARAMALARI ve POTANSİYELİ

Dr. Ali KOÇAK

Jeoloji Yüksek Mühendisi

MTA Genel Müdürlüğü, Enerji Dairesi

ÖZET

Son yıllarda, Dünya küresel ısınma problemi yanında yakın geçmişte oluşan ve halen devam eden enerji darboğazına da yeterli bir çözüm henüz bulunmamıştır.

Dünyayı 70 li yılların başında sarsan enerji darboğazı Türkiye'yi de büyük ölçüde etkilemiş ve Türkiye de artık dünyada olduğu gibi alternatif enerji kaynakları arayışı içine girmiştir. Fosil yakıtların giderek azalan rezervleri nedeniyle, ki araştırmalara göre petrol rezervlerinin kabaca 50 yıl, kömür rezervlerinin ise 250 yıl sonra tüketileceği varsayılmaktadır, alternatif enerji kaynaklarından yeni ve yenilenebilir olanlar ayrı bir önem kazanmaya başlamışlardır. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan jeotermal enerji bütün dünyada olduğu gibi Türkiye'de de önemli ölçüde kullanılır duruma gelmiştir.

Jeotermal enerji aynı zamanda temiz bir enerji kaynağı olup, uygun teknolojilerin kullanılması halinde kirletici etkisi sıfır olan bir enerji kaynağıdır. Ayrıca ülkemizdeki yüksek entalpili(elektrik üretimine uygun) jeotermal enerji, enerji ihtiyacının fazla olduğu Batı Anadolu bölgesinde bulunmakta ve dolayısı ile taşımadaki kayıplarda bir anlamda önlenmiş olmaktadır. 1962 li yıllarda envanter çalışmaları ile başlatılan aramalar zaman içerisinde geliştirilerek önemli ölçüde enerji kaynağı oluşturan bir sonuca ulaşmıştır. Bugüne kadar, MTA Genel Müdürlüğüne sıcaklığı 35 °C nin üzerinde olan 170 adet sahanın varlığı keşfedilmiştir. Bu sahalardan yaklaşık 124'ün üzerinde sahada toplam 171927.70 m. yapılan 424 adet sondajla elde edilen akışkanın ısıtmaya baz oluşturacak kullanılır potansiyeli Kasım 2005 iti-

barıyla 3042,91MWt dir (3042,91 MWt olup 229406,6776*** ton/yıl petrol eşdeğeridir.). Bunun bugünün değeri ile, ham petrolün varilini 60 \$ alırsak, parasal karşılığı ise 916962670,8 US\$/yıl dır.

MTA Genel Müdürlüğünün yapmış olduğu çalışmalarla keşfedilmiş olan Denizli-Kızıldere sahasında 20.4 MWe gücünde bir santral jeotermal akışkandan elektrik üretmektedir. Bunun yanında ilave on üç sahada daha yeni teknolojilerle elektrik üretebilecek jeotermal akışkan varlığı bilinmektedir. Kızıldere sahasında 40 000 ton/yıl üretim yapan bir CO₂ fabrikası 1986 dan beri sıvı CO₂ ve kuru buz üretimi yapmaktadır. Aynı şekilde Ağrı Diyadin' de 2001 yılında,ı yine, sıcak akışkanla birlikte bir CO₂ üretim potansiyeli tespit edilmiştir.

Yine 1986 yılında Balıkesir-Gönen de jeotermal akışkanla şehir ısıtmacılığı başlatılarak bugün ısıtılan konut sayısı kurulu gücü Eylül 2005 itibarıyla 60 000 konut eşdeğerinin üzerine çıkarılmıştır.

Buna çevresel etki değerlendirmedeki katkı payı ve öz kaynak oluşu da dahil edilirse değeri birkaç kat daha artmış olacaktır. Literatürde CO₂ emisyon değerleri kömürde 900-1300 g/kWh, doğal gazda 500-1250 g/kWh iken jeotermal enerjide 20-35 g/kWh tir. Yukarıda tespit edilen jeotermal potansiyelin kömür karşılığı olarak kullanılması halinde 1594459,4704 kg/saat CO₂ atmosfere çıkışı engellenmiş olacaktır.

Öte yandan jeotermal kaynağın entegre kullanımı da göz önüne alınırsa ülke ekonomisine katkısı daha da artacaktır. Ancak bu kaynağın daha verimli bir şekilde kullanılabilmesi için bu konudaki yasal boşluğun bir an önce giderilmesi gerekmektedir.

GİRİŞ

Dünyada özellikle 1970 li yıllardan sonra ortaya çıkan enerji darboğazı tüm ülkeleri yeni enerji arayışları ve politikası içine itmiştir. Özellikle konvansiyonel enerji kaynaklarının tükenmeye yüz tutması ve kirlilik nedeniyle yarattıkları küresel ısınma, ülkelerdeki bu yeni arayışları ve politikayı yenilenebilir tür enerji kaynakları arayışına yönlendirmiştir. Birçok gelişmiş ülke yeni ve yenilenebilir kaynaklar konusunda önemli yollar katetmişlerdir.

Yeni ve yenilenebilir (alternatif) enerji kaynaklarından önemlileri, aşağıdaki şekilde sıralandırılmış olup burada jeotermal enerji konusu işlenecektir.

- 1- Güneş Enerjisi
- 2- Jeotermal Enerji
- 3- Rüzgar Enerjisi

4- Biomas (Biyokütle;Biyodisel))

5- Çöp Yakıtlar

6- Deniz Dalga Enerjisi

7- Hidrojen Enerjisi

8- Küçük Akarsu Gücü gibi

Jeotermal enerji; Yerkürenin merkezinde bulunan akkor halindeki iç çekirdekten çevresine, yeryüzüne doğru yayılan ısının oluşturduğu enerji dir.

Jeotermal enerji kaynağı; yukarıda sözü edilmiş olan çekirdekteki enerjinin yer-kabuğunun çeşitli derinliklerinde yoğunlaşarak birikmiş ısısının oluşturduğu, ve bu ısının meteorik kökenli sularla yüzeye taşınması ile oluşan, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcaksu ve buhar olarak tanımlanabilir.

Ayrıca bazı alanlarda bulunan “sıcak kuru kayalar” da akışkan içermemesine rağmen, ortama su enjekte ederek ısısının uygun teknoloji ile yeryüzüne taşınması nedeniyle jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilirler.

Buna ilave olarak jeotermal ısı pompası (GHP) veya yer kaynaklı ısı pompası (GSHP) tekniği ile elde edilen enerji de jeotermal kaynak kabul edilebilir.

Jeotermal akışkanı oluşturan sular meteorik kökenli olduklarından, yeraltındaki hazneler sürekli beslenmekte ve kaynak yenilenebilmektedir. Bu nedenle pratikte, beslenmenin üzerinde kullanım olmadıkça jeotermal kaynakların tükenmesi sözkonusu değildir ve sürdürülebilir kaynak niteliğindedirler.

JEOTERMAL SİSTEMLERİN YERKÜRE ÜZERİNDEKİ YAYILIMI

Yerküre üzerindeki bulunuş yerlerine ve oluşum nedenlerine göre ilk aşamada aşağıdaki şekilde sınıflanabilir.

1 a) Aktif Kıta Kenarlarındaki Jeotermal Sistemler:

b) Okyanus Ortası Sırtlar Üzerindeki Jeotermal Sistemler

2 a) Yaygın Aktif Kıta Yarıkları (rift) Üzerindeki Jeotermal Sistemler.

b) Kıtasal Yarıklar Üzerindeki Diğer Sistemler.

c) Aktif Volkanik Adalarla İlgili Sistemler.

3) Normal veya Normalden Oldukça Yüksek Isı Akısı ile İlgili Sistemler.

a) Kayaç tiplerine bağlı olarak farkedilen termal kondüktivitedeki değişimler,

b) Sığdaki granitler tarafından oluşturulan ilave ısı akısı olarak tanımlanabilir.

ÜLKEMİZDE MEVCUT DURUM ve UYGULANAN POLİTİKALAR

a) Kaynak Varlığı.

Türkiye’de sıcaklıkları 102 °C’ye varan 600’ün üzerinde, bazı kaynaklara göre ise 1000 kadar sıcak su (jeotermal enerji) kaynağı mevcuttur. Ülkemiz Avrupada bulunan ülkeler arasında jeotermal enerji kaynağı İtalya’dan sonra en fazla olan bir ülkedir.

Bu kaynaklar ülkenin jeolojik yapısı nedeniyle Batı Anadolu’da Ege Bölgesinde hem sıcaklık ve hem de sayıca diğer bölgelere göre daha fazla yoğunlaşmıştır

b) Kullanılma Düzeyi

Jeotermal enerjinin konvansiyonel diğer kaynaklara göre olan avantajlarına gözetarsak kullanımda zaman içerisinde giderek belli bir avantaj sağlamaktadır.

Bu avantajlar:

- Jeotermal enerjiden elde edilen birim gücün maliyeti, hidroelektrik dışında termik ve diğer santrallardan elde edilene göre çok daha ucuzdur.
- Termik santrallara göre çok daha az çevre sorununa yol açmaktadır. Re-enjeksiyon uygulamalarının giderek gelişmesiyle çevre sorunu hemen hemen hiç kalmamıştır. Yani temiz bir enerji kaynağıdır.
- Son yıllarda geliştirilen “Binary Cycle” veya “Multi Flashing System” gibi teknolojik gelişmeler ile daha düşük sıcaklıktaki sahalardan da elektrik üretimi mümkün olmakta ve santral çevrim verimleri artırılarak birim enerji maliyeti daha da aşağılara çekilmektedir.
- Elektrik üretimi ile entegre olarak geliştirilen sistemlerle jeotermal akışkandan daha fazla termal güç ve diğer kullanımları (entegre) elde etmek mümkün olmaktadır. (Yani birden fazla amaçla aynı anda elektrik üretimi, daha sonra

santraldan çıkan akışkandan ısı enerjisi, termal turizm, kimyasal madde eldesi gibi alanlarda kullanılabilir (2010).

- Ülkelerin kendi doğal enerji kaynaklarını kullanarak enerjide dışa bağımlılıklarını azaltmaya yönelmeleri de jeotermal kaynakların kullanımını artırmaktadır.
- Yenilenebilir oluşu ve yerinde kullanımı mümkün kılan karaktere sahip olması jeotermal enerjiye olan ilgiyi artırmaktadır.
- Ground Heat Pomp lar sayesinde ise mevsimlik ısı değişimleri nedeniyle yeraltındaki, atmosferik ısı değişimlerine göre daha sabit olan ısı farkından yararlanılarak kış mevsiminde bina ısıtılması ve yazın ise bina soğutulmasında yararlanılmaktadır.

Bu avantajlardan yola çıkarak dünyada birçok alanda kullanım alanı sağlayan jeotermal enerji ile Türkiye’de de elektrik üretimine yönelik ilk uygulamalar, 1968 yılın-da Denizli-Kızıldere sahasının geliştirilmesi ile başlamış ve 1974 de 0.5 MWe kapasiteli pilot santral MTA Genel Müdürlüğü tarafından devreye sokulmuştur. Daha sonra 1984 yılında TEK (şimdiki adı ile EÜAŞ) tarafından 20.4 MWe kapasiteli bir santral kurulmuştur. Aydın-Germencikte ise kapasitesi 50-100 MWe arasında değişebilecek bir santralin kurulmasına yönelik çalışmalar sürdürülmektedir. Aydın-Salavatlıda ise jeotermalle elektrik üretecek bir santralin inşaat aşaması tamamlanmak üzeredir. Elektrik üretimine uygun diğer sahaların da devreye girmesi ile Türkiye’deki, toplam elektrik üretim gücü bugünkü koşullara göre yaklaşık 500 MWe’e ulaşabilecek durumdadır.

Türkiye’de ilk jeotermal ısıtma uygulaması 1964 yılında Gönen Park Otelinin ısıtılması ile olmuştur. Balıkesir-Gönen’de 1987 yılından beri 16,3 MWt kapasiteli ısıtma (konutlar, sera ve otel) yapılmakta ve 54 adet tabakhaneinin proses sıcak su ihtiyacı karşılanmaktadır. Daha sonra birçok şehir ve kasabada ısıtma uygulamaları yaygınlaşmıştır (bakınız Tablo-3). Bunların yanında sağlık ve termal turizm amaçlı çok sayıda kullanım bulunmaktadır. Ancak bugün MTA Genel Müdürlüğü tarafından ısıtılmış olan potansiyelin kabaca yarıya yakını ağırlıklı olarak ısıtma, sağlık, termal turizm ve kısmende elektrik üretiminde kullanılmaktadır.

DÜNYADA DURUM

Tarihi dönemlerden beri her kıtadaki yerlilerin ilkel bazda temizlik, sağlık, eğlence ve ilkel yollarla ısıtma ve yiyecek pişirme amacıyla kullanılan bu kaynak,

daha sonra turizm ve modern anlamda ısıtma uygulamaları da dahil olmak üzere dünyada jeotermal kaynak bulunduran tüm ülkelerde kullanılmaya başlanmıştır. 2005 yılı değerlerine göre jeotermal akynaklardan modern anlamda ısıtma uygulamaları toplam 27 824.8 MWt dir (Lund,W., J., 2005).

Elektrik üretimi ise 1904 yılında İtalyanın Larderello bölgesinde ilk ampulün yakılması ile günümüz teknolojisine yönelik ilk adımla çağdaş kullanıma sunulmuştur. Bugün bu kaynağın dünyadaki elektrik üretimi durumu aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo-1: Dünyada Jeotermal Enerjiden Elektrik üretimi (Kurulu Güç)

Ülkeler	2005 MWe
Almanya	0.2
Amerika	2544
Arjantin	0.7
Avustralya	0.2
Avusturya	1
Çin	28
El Salvador	151
Endonezya	797
Etyopya	7
Filipinler	1931
Fransa (Guadalup adaları)	15
Guatemala	0.2
İtalya	790
Ülkeler	2005 MWe
İzlanda	202
Japonya	535
Kenya	127
Kosta Rika	163
Meksika	953
Nikaragua	77
Papua YeniGine	6
Portekiz(Azor adaları)	16
Rusya	79
Tayland	0.3
Türkiye	20.4
Yeni Zelanda	435
Toplam	8897

(Ruggero Bertani,2005' ten revize edilerek alınmıştır)

Tablo-2: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Enerji Üretimi

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından 1996 da Elektrik Üretimi				
	Kurulu Güç		Yıllık Üretim	
	(MWt)	%	(Gwh)	%
Jeotermal	7049	52	42.053	80
Rüzgar	6050	45	9.933	19
Güneş	175	1	229	-
Gel-git	264	2	602	1
Toplam	13.538	100	52.817	100

(Barbier 1999)

TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ENERJİ ARAMALARI

Jeotermal enerji açısından zengin ülkeler arasında yer alan ülkemizde 1962 yılından bu yana MTA Genel Müdürlüğü'nce sürdürülen sistematik ve programlı araştırmalar sıcağı kaynaklarının envanter çalışmaları ile başlamıştır. Daha sonra uygun sahalarda gerçekleştirilen ayrıntılı etütlerle sıcaklığı 35°C üzerinde jeotermal akışkan içeren 170 adet sahanın varlığı ortaya konmuştur.

Yüzey sıcaklığı 35°C nin üzerinde olan 170 adet jeotermal sahanın 160 tanesi merkezi ısıtmaya, sera ısıtmasına, endüstriyel proses ısı kullanımına ve kaplıca kullanımına uygundur. Diğer 13 jeotermal sahanın 4'ünde konvansiyonel yöntemlerde dahil olmak üzere, 9 unda ise teknik olarak, yeni teknolojilerin kullanılması ile elektrik üretimine uygun olduğu tesbit edilmiştir. Bu sahalarda elektrik üretimine entegre olarak, merkezi ısıtma, seracılık, termal turizm vb. jeotermal uygulamalarda gerçekleştirilebilir. Buna bir örnek Kızıldere sahasında elektrik üretildikten sonra türbünden çıkan akışkan Denizli Sarayköy ilçesinin ısıtılmasında kullanılmaktadır.

Son yıllarda artan ısıtma uygulamaları nedeniyle arama çalışmalarında da bir artış olmuş ve ağırlıklı olarak önceleri Batı Anadolu'da yapılan aramalar ülkenin her tarafında yaygınlaşmıştır. Son 7-8 yılda yapılan çalışmalarla, bulunan ve varolanlardan geliştirilen sahalara birkaç örnek olarak İzmir-Aliğa; Ş. Urfa-Karaali, Ağrı-Diyadin, Kırşehir, Nevşehir-Kozaklı, Van-Erciş, Yozgat-Saraykent, Afyon-Sandıklı, Balıkesir-Bigadiç, Balıkesir-Havran ve Afyon-Gazlıgöl gibi sahaları verebiliriz.

Son 3-4 yılda ise elektrik üretimine uygun rezervuar sıcaklığına sahip Salihli-Göbekli ile Salihli, Alaşehir-Kurudere sahaları keşfedilmiş olup bunların geliştirme çalışmaları önümüzdeki yıllarda yapılmalıdır.

TÜRKİYE’NİN JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ

Ülkemiz jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyadaki zengin ülkeler arasında yer almaktadır. Türkiyede toplam 1000 dolayında sıcak ve mineralli su kaynağı ve jeotermal akışkan çıkan kuyu noktası vardır. Bilinen jeotermal alanların %95’i ısıtmaya uygundur. Türkiye’de az sayıda da olsa yüksek entalpili jeotermal alanlar da keşfedilmiştir. Ancak ülkemizde jeotermale dayalı elektrik üretimi düşük seviyede kalmıştır. Halen 20.4 MWe brüt kurulu güce sahip (242 °C rezervuar sıcaklığı olan) Denizli-Kızıldere santrali günümüzde zaman zaman 15 MWe çıkmasına rağmen net ortalama 12 MWe elektrik üretmektedir. Aydın-Germencik’te (232°C rezervuar sıcaklığına sahip) ise aşamalı olarak yaklaşık 100 MWe gücüne ulaşacak taşınabilir üniteler için Yap-İşlet modeline göre işlemler sürdürülmektedir. Ayrıca 2002 yılında varlığı ortaya konan Salihli-Göbekli jeotermal sahası da rezervuar sıcaklığı (182 °C) itibariyle elektrik üretimine uygun bir sahadır. Balneolojik amaçlı kullanımlar için sıcaklık alt sınırı 20°C olarak kabul edilmekte olup 600 kaynak grubuyla (1000 adet kaynak) ülkemiz Avrupa’da birinci sırayı almaktadır. Isı enerjisi olarak yararlanmak için 35°C sınırı kabul edildiğinde ise karşımıza 170 adet jeotermal alan çıkmaktadır. Sadece kaynakların boşalimleri değerlendirildiğinde potansiyel 600 MWt civarındadır. MTA Genel Müdürlüğü’nün 40 yıllık süre içerisinde açtığı toplam 172.773.70 m. derinliğindeki 424 kadar jeotermal amaçlı sondaj ile bu potansiyele yaklaşık 3042,91 MWt (Eylül 2005) katkı sağlanmıştır. Yukarıda verilen değerler, ülkede bulunan 600’den fazla kaynak çıkışının, yaklaşık 124’ünün üzerinde yer aldığı alanlarda yapılan sondajlardan ve kaynaklardan elde edilen değer olup, potansiyel oluşturan diğer alanlarda da sondajlar yapılması halinde, bu potansiyelin önemli ölçüde artacağı beklenmektedir. Ayrıca son yıllarda özel firmalar tarafından yapılmış sondajlı çalışmalar bilinmediği için bu değere dahil edilmemiştir.

Ülkemizde yaygın bir şekilde kullanılan merkezi ısıtma amaçlı jeotermal kaynak alanlarında kurulmuş olan ısıtma tesislerinin kapasiteleri aşağıda verilmiştir.

Tablo –3: Türkiye’de merkezi olarak jeotermal enerji ile ısıtılan yerler:

	Şehir	Kcal/h	kWh	Isıtılan Konut Sayısı	Kurulu Kapasite (Konut)	Akışkan sıcaklığı (°C)	MWt	
1	Gönen	1393200	16200	3000	4500	80	16,2	1987
2	Simav	-		4000	6500	120		1991
3	Küt-Gediz	2000000	232,56	200			0,2	1987
4	Kızılcadamam	-		2000	2250	80		1995
5	Narlıdere	-		700	5000	98		
6	Sandıklı	-		1000	5000	70		1992
7	Kırşehir-Terme	-		1800	1800	57	18	1994
8	Balçova	-		6500	15000	125		
	Balçova Motel	5160000	6000				6	1982
	Balçova-Tıp F.	1892000	2200				2,2	1983
	Balçova-Havuz	1600000	1860				1,86	1987
	Balçova-Kaplıca	1200000	1395				1,39	1989
	Balçova-Hast II	6900000	8023				8	1992
9	Afyon	220000	2558	4000	10000	95	2,56	1989
10	Kozaklı	-		1000	1000	90		1997
12	Diyadin	-		1500	1500	78		2000
13	Samsun-Havza	60000	69,77		0		0,069	1988
14	Anka-Haymana	60000	69,77		0		0,069	1989
15	Manisa-Salihli	220000	255,81	2500	2500		0,2?	2002
16	Denizli-Sarayköy	-		500	500			2004
17	Balıke-Edremit	-		500	7500			2003
18	Balıkes-Sındırgı	450000	523				0,52	1986
	Toplam			24200	60550			

(Koçak,A.,2005 ve Türkiye Jeotermal Derneği)

Isıtma uygulamalarının yanında jeotermal enerjiden elektrik üretimi de yapılmaktadır. İlk uygulama pilot olarak 1975 yılında MTA genel Müdürlüğü tarafından Denizli Kızıldere sahasında 0,5 MWe üreten bir santralla başlamıştır. Bu saha daha sonra geliştirilerek o zamanki adıyla TEK’e devredilmiş ve 1984 yılında burada 20,4 MWe gücüne sahip bir santral kurulmuş ve halen çalışmaktadır. Sahada atık suyun yarattığı çevre problemi MTA tarafından açılan re-enjeksiyon kuyusu ile büyük ölçüde çözülmüştür.

Kızıldereye ilave olarak diğer iki sahada Aydın Germencik (yaklaşık 100 MWe potansiyel) ve Salavatlı’da halen santral kurma çalışmaları devam etmektedir.

Aşağıda Tablo 4 te ülkemizde elektrik üretimine uygun jeotermal sahalar ve muhtemel elektrik üretim yöntemleri verilmiştir.

Tablo –4: Türkiyede Elektrik Üretilen ve Üretilebilecek Jeotermal Enerji Sahaları

	Saha Adı	Rezervuar sıcaklığı °C Temperature	Uygulanabilecek Santral tipi
1	Kızıldere(Denizli)	212-242	Single Flash (-Binary-Multi flash-Hybrid sys)
2	Tekkehamam	210	Flash -Binary-Multi flash-Hybrid sys
3	Germencik-Ömerbeyli (Aydın)	232	Flash -Binary-Multi flash-Hybrid sys
4	Tuzla (Çanakkale)	174	Flash -Binary-Multi flash?-Hybrid sys
5	Kurudere-Salihli	213	Flash -Binary-Multi flash?-Hybrid sys
6	Göbekli (Salihli)	182	Flash -Binary-Multi flash?-Hybrid sys
7	Salavatlı (Aydın)	171	Flash -Binary-Multi flash?-Hybrid sys
8	Simav (Kütahya)	162	Flash -Binary- Hybrid sys
9	Caferbeyli (Salihli)	155	Flash -Binary-Hybrid sys
10	Seferihisar (İzmir)	153	Flash -Binary-Hybrid sys
11	Dikili (izmir)	130	Binary-Hybrid sys
12	İmamköy (Aydın)	142	Binary-Hybrid sys
13	Bağcıva	136	Binary-Hybrid sys

KONVANSİYONEL ENERJİ KAYNAKLARI İLE EKONOMİK KARŞILAŞTIRMA

Yukarıda sözü edilen potansiyel değerler (sadece sondajlarla elde edilen 3042,91* MWt) gözönüne alındığında jeotermal potansiyelin yıllık kömür eşdeğeri 5731017** ton /yıl, petrol eşdeğeri ise 2292407*** ton/yıl dır. Bunun bugünün değeri ile [ham petrolün varilini 60 \$ alarak, $2292406678/150 = 15282711*60=916962671$ US\$] parasal karşılığı ise 1.050.527.372 US\$ dır. Buna çevresel etki değerlendirmedeki katkı payı ve öz kaynak oluşunu da dahil edersek değeri birkaç kat daha artmış olacaktır. Yukarıdaki bölümlerde açıklandığı gibi fosil enerji kaynaklarına göre çevreyi yok denecek kadar az kirlletmesi nedeniyle ekonomik katkı sağlmasının yanında, öz kaynak olması nedeniyle dışa bağımlılığı olmayacak ve herhangi bir döviz ödemesi de yapılmayacaktır.

Jeot.pot MWt	Saat/yıl	Jeot.MWt/ yıl	Jeot.Kcal./yıl	Kömür kg/yıl	Pet.kg./yıl	Pet.Varil/ yıl	Tasarruf US\$/yıl
3042,91	8760	26655891,6	22924066776000	5731016694	229406677,6	1529377,85	916962670,8

* Jeotermal potansiyel hesabında ısı alt limiti 35°C alınmıştır

** 1 kg kömür 4000 kcal kabul edilmiştir

*** 1 kg petrol 10000 kcal ve varili 60 US\$ kabul edilmiştir.

Ayrıca jeotermal enerji üretim maliyeti diğer enerji kaynaklarına oranla düşük değerdedir. Bu maliyet entegre sistemler sözkonusu olduğu zaman daha da düşmektedir.

Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde toplam maliyetin %40 ı rezervuar için tesbit çalışmaları, üretim ve reenjeksiyon kuyu-ları, %50 si santral kurulması ve geri kalan %10 u ise diğer faaliyetler için harcanmaktadır.

Tablo-5: Jeotermal akışkan çeşidine göre kurulan santrallerin yatırım birim ve diğer işletme fiyatları (A.B.D)

KAYNAK TİPİ (\$/kW)	KURULU SANTRAL MALİYETİ (cent/kW)	AMORTİSMAN (cent/kWh)	İŞLETME- BAKIM MALİYETİ (cent/kWh)	KUYU YA DA AKIŞKAN	TOPLAM MALİYET (cent/kWh)	SANTRAL KURULUŞ SÜRESİ (YIL)
KURU BUHAR	300	0.4	0.1	1.3	1,8	3
TEK BUHARLAŞTIRMALI	500-800	0,7-1,1	0.3	1.7-2.7	2,7-4,1	3
ÇİFT BUHARLAŞTIRMALI	500-950	0,7-1,4	0.3	1.5-2.5	2,5-4,2	3
BINARY ÇEVİRİM SİSTEMİ *	1200-2000	1,7-2,8	1,2	1,5	4,4-5,5	2

+ %80 işletme zaman verimi ve %10 Amortismanı dayanır (7008 saat/yıl kapasiteli)

(Geothermal Energy Hand Book 1982 alınmıştır, ancak amortisman değerleri ve Binary Çevrim Sistemi yeniden 1992'ye göre revize edilmiştir.)

Çeşitli ısıtma sistemleri için ise tüketici maliyetleri aşağıdaki gibidir:

- 1) Jeotermal bazlı: 1 cent/ kWh ısı
- 2) Fuel-Oil bazlı: 6 cent/ kWh ısı
- 3) Elektrik bazlı
 - a) Ev tarifesi: 5 cent/ kWh ısı
 - b) Ticari tarife: 9 cent/ kWh ısı

(J. S. Gudmundson, Stanford University, California. Geothermal Resources Council Bulletin, Sept. 1985, USA)

Tablo -6: Enerji Kaynaklarından elektrik üretimi maliyet tahmini

Petrol/Kömür/Nükleer	6 cents /kWh
Hidro	3-9
Jeotermal Buhar (Hidrotermal-flaş)	3-12
Rüzgar	11
Güneş	15
Biyokütle	11
Kojenerasyon	6

(Barbier 1999)

DİĞER YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI İLE KARŞILAŞTIRMA

Tablo-7: Dünya Fosil Yakıt Rezervleri (1999 sonu)

Bölge	Petrol	D. Gaz	Kömür(Milyar Ton)	
	Milyar Ton	Trilyon m ³	Taşkömürü	Linyit
Kuzey Amerika	8.4	7.3	116.7	139.8
Orta ve Güney Amerika	12.9	6.3	7.8	13.7
Avrupa	2.7	5.1	41.7	80.4
Eski SSCB Ülkeleri	9.0	56.7	97.5	132.7
Ortadoğu	91.5	49.5	0.2	
Afrika	10.0	11.2	61.2	0.2
Asya ve Okyanusya	5.9	10.3	184.4	107.9
TOPLAM DÜNYA	140.4	146.4	509.5	108.1

1999 Enerji Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi(BP Amaco Statistical Review of World Energy, June 2000)

Tablo-8: Dünya Fosil Yakıt Rezervlerinin Kullanılabilme Süreleri (Yıl)

Bölge	Petrol	D.Gaz	Kömür
Kuzey Amerika	14	11	239
Orta ve Güney Amerika	38	66	474
Avrupa	8	18	161
Eski SSCB Ülkeleri	24	82	>500
Ortadoğu	87	>100	175
Afrika	28	98	268
Asya ve Okyanusya	16	40	164
TOPLAM DÜNYA	41	62	230

1999 Enerji Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi(BP Amaco Statistical Review of World Energy, June 2000)

Tablo-9: Dünya Fosil Yakıt Üretim ve Tüketimi (1999 Yılı)

Bölge	Üretim		Tüketim	
	(Milyon TEP)	%	(Milyon TEP)	%
Kuzey Amerika	1932	25.2	1957.2	29.8
Orta ve Güney Amerika	458	6.0	464	4.2
Avrupa	0	11.0	11	19.6
Eski SSCB Ülkeleri	1146	15.0	1161	10.9
Ortadoğu	0	16.0	16	5.0
Afrika	579	7.5	586.5	3.3
Asya ve Okyanusya	1478	19.3	1497.3	27.2
TOPLAM DÜNYA	5593	100	5693	100

1999 Enerji Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (BP Amaco Statistical Review of World Energy, June 2000)

HAVA KİRLİLİĞİ

Güümüzün en önemli konularından biri çevre ve özellikle atmosfer kirliliğidir. Atmosferi kirleten en önemli etkenlerden biride yakıtlardan çıkan atık gazların olumsuz etkisidir. Enerji ihtiyacının karşılanmasında kullanılan, özellikle fosil yakıt türlerinden çıkan atık baca gazları, is, duman, toz vb. atmosferi önemli ölçüde kirleterek yaşam koşullarını, oksijen azaltılması ve sera gazı etkisi gibi, olumsuz şekilde etkilemektedir. Enerji kaynakları içinde en önemli yeri tutan kömürün yakılması durumunda atmosfere çıkaracağı CO₂ ile jeotermal enerjinin kullanımı halinde atmosfere çıkacak CO₂ tin bir karşılaştırması aşağıda yapılmıştır.

Jeotermal MWt	Kcal karşılığı	Kömür karşılığı Kg/h	Jeotermal CO ₂ emisyonu Kg/h	Kömür CO ₂ emisyonu Kg/h	Kömür CO ₂ emisyon fazlalığı Kg/h
3042,91	2616902600	1090376,083	760,739	1595220,2094	1594459,4704

Kömür 4000 Kcal.,Kazan verimi %60, Jeotermal akışkandan CO₂ çıkışı %0,15, Kömürde elementer C %39,9 kabul edilmiştir.

3042,91 lt/sn jeotermal üretim

Bu karşılaştırmada görüldüğü gibi, kömür kullanılması halinde kabaca saatte 1594,459 ton CO₂ fazlalığı ortaya çıkmaktadır. Bu hesaplama şeklinde kömürden çıkan element sadece elementer C olarak, jeotermalden çıkan ise CO₂ olarak ele alındığı halde bu şekilde bir sonuçla karşılaşılmaktadır. Ayrıca jeotermal akışkan içerisindeki CO₂ uygun teknoloji kullanıldığı taktirde kuru buz veya sıvı CO₂ olarak

elde edilerek ticari kullanıma sunulabilmektedir. Bugün için, Denizli-Kızıldere jeotermal santralına ilave olarak 40 000 ton/yıl kapasiteli bir CO₂ fabrikası akışkandan çıkan CO₂ ayırarak ticari kullanıma sunmaktadır.

YASAL DURUM

Yıl içerisinde Yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili çıkartılmış olan yasa yeteri kadar tatmin edici bir düzeyde olmayıp, jeotermal için çok daha kapsamlı bir yasa gerekmesine rağmen yıllardır hazırlanmış olan tasarılar bazı Bakanlıkların gerekenden ileri düzeyde engelleyici davranışları nedeniyle birtürlü çıkartılamamaktadır.

Yenilenebilir kaynaklarla ilgili olarak uygulamalara yönelik, hak sahibi olma ve düzenlemelerin daha detaylı olarak; uygulama bölgesi ile uyumluluğu, uygulamanın sürdürülebilirliği, diğer kaynaklarla ve sistemle entegrasyonu, tüketim ihtiyacı ile sağlanacak uyumlar yönünde dikkatli çalışmalar yapılacak düzenlemeler getirilmesi yararlı olacaktır.

Yenilenebilir kaynaklar her ülkenin kendi öz kaynağı durumunda olup bu kaynakların enerji tüketiminde bir an önce yer alması ülke ekonomisi ve özellikle çevre kirliliğini azaltma ve önleme bakımından önemlidir. Bu nedenle yenilenebilir kaynakların tümü, fosil yakıtlarla birlikte gözönüne alınarak ilgili uzman kurum ve kişilerin katılımı ile bir master plan hazırlanması ve maksimum yarar sağlayacak optimum uygulama koşullarının ortaya konması önemlidir.

Yenilenebilir kaynaklara yönelik teknoloji ve uygulamaların gelişmesi için çeşitli teşvik önerileri yasa tasarılarında yer almalıdır.

Otoproduktör sistemin yaygınlaşması anlamında sistemle entegre olabilecek veya sistemi zorlamayacak şekildeki uygulamalar belirlenmeli ve teşvik edilmelidir.

Jeotermal konuda MTA ve Maden İşleri Genel Müdürlüklerinin katılımı ile hazırlanmış olan tasarımın Enerji Bakanlığı bünyesinde yasalaştırılarak aramada uzman bir kuruluş olan MTA Genel Müdürlüğü’nün önderliğinde sistemli bir ortam sağlanıncaya kadar yürütülmesi kaynak üretimi açısından çok önemlidir.

POLİTİKA ÖNERİLERİ

Türkiye’de 1960 lı yıllarda başlayan jeotermal enerji aramaları sonunda, günümüzde birçok alan keşfedilmiş ve elektrik üretimi, ısıtmacılık (konut, sera), kimyasal madde üretimi ile sağlık ve turizm amacıyla tek ve entegre uygulama projeleri başlamıştır.

Fosil yakıtlara dayalı enerji üretimine karşı daha ucuz, yenilenebilir, çevre açısından daha temiz ve yerli enerji kaynağı olması nedeniyle jeotermal kaynakların araştırılması ve geliştirilmesine öncelik ve teşvik verilmeli, ayrıca bu sektörde yatırımlar özendirilmelidir.

Türkiye’de 35°C nin üzerinde kaynak sıcaklığı bulunan 170 dolayındaki jeotermal sahadan onüç adedinin ekonomik olarak elektrik üretimine uygun olduğu belirlenmiştir. Bu sahaların (Kızıldere, Germencik, Salavatlı, Tuzla vd.) geliştirilmesine öncelik verilmelidir. Bu onüç saha ile birlikte yukarıda sözü edilen yaklaşık 170 sahadaki kaynakların termal kullanıma yönelik araştırma ve yatırımlara hız verilmelidir.

Ülkemizde mevcut jeotermal sahalardan elektrik üretimi EÜAŞ tarafından, ısıtma, sağlık ve termal turizm uygulamaları Belediyeler, Özel İdareler ve özel kuruluşlar tarafından yapılmaktadır. Jeotermal sahalarda arama faaliyetleri için gereken harcamalar bir enerji altyapı yatırımdır. Bu nedenle yaygınlaşan bu uygulamaları karşılayacak şekilde sahaların potansiyellerinin belirlenmesi ve yeni sahaların keşfine olanak sağlamak üzere özellikle MTA’ya, ekipman yenilemesini için genel bütçeden yeteri kadar kaynak aktarılmalıdır.

Jeotermal değerlendirme yatırımları için reenjeksiyon kuyuları da üretim kuyuları kadar önemlidir. Reenjeksiyon, rezervuar parametrelerini (basınç, sıcaklık vb.) koruyarak rezervuarı etkin tutmak, beslemek ve çevrede herhangi bir (nehir, dere, deniz ve atmosfere) kirlenici atık sorunu yaratmamak için uygulanmaktadır.

Bir sahanın potansiyelinin tümüyle değerlendirilmesi, bu aşamasında tamamlanması ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu nedenle jeotermal araştırma ve geliştirme faaliyetlerine reenjeksiyon çalışmaları da dahil edilmelidir.

Araştırmalar sırasında kuru çıkan jeotermal, petrol, maden, su vb. kuyuların, kuyu içi sıcaklıkları ve koşullar yeterli olduğu takdirde ısıtma amaçlı olarak kullanılma olanakları değerlendirilmelidir.

Türkiye için yukarıda sözü edilen 170 dolayındaki sahaların yaklaşık tamamında ısıtmacılığa yönelik yatırım yapılabilir. Bunun yanında bu sahaların birçoğunda soğutma, kimyasal madde üretimi, sağlık ve turizm açısından entegre kullanım olanakları belirlenmiştir. Yurdumuzdaki ilk önemli merkezi ısıtma sistemlerinin ve entegre uygulamanın yapıldığı Gönen, Afyon, Balçova ve Simavda ucuz ve temiz enerji sağlanmış bulunmaktadır. Bu örneklerin hızla çoğaltılması için yatırımların

desteklenmesinde büyük yarar vardır. Bu sahaların gelişmesi yurdumuza hem ekonomik hemde önemli sosyal katkı sağlayacaktır.

Bu amaca yönelik olarak jeotermal enerji yatırımlarında ağırlıklı bir şekilde seracılık gibi yatırımların fon kredilerinden ucuz özellikli kredilerden yararlandırılması büyük önem taşımaktadır.

Araştırma ve kullanımla ilgili yasal düzenlemeler getirilmelidir. Bu kapsamda olmak üzere arama ve işletmeyi koordine edecek bir Jeotermal Enerji Kurumunun kurulması yararlı olacaktır.

Türkiye MTA Genel Müdürlüğü nezdinde jeotermal enerji arama ve işletmeye yönelik çalışmalarda, gerekse özel sektör olarak ısıtma uygulamalarında dünya çapında önemli bir düzeye gelmiş bulunmaktadır. Bu kapsamda yurt dışında ve özellikle Türk Cumhuriyetlerinde jeotermal kaynakların araştırma ve işletilmesine yönelik projeler geliştirilebilir. Bu nedenle yurt dışı temaslarda bu potansiyelimizde, know-how satışında dahil olmak üzere, gözönünde bulundurulmasında yarar vardır.

8. beş yıllık kalkınma planı döneminde enerji açığının büyüyeceği varsayılarak, üretimin tümüyle kullanılacağı tahmin edildiğinden, yerli enerji kaynağımızın geliştirilmesi döviz tasarrufu, yeni ve çevre problemi yaratmayan enerji kaynaklarımızın kullanımını artıracaktır.

KAYNAKLAR

1. Barbier, E., 1999, The Status of the World Geothermal Development, in Direct Utilization of Geothermal Energy, Proceedings of the 1999 Course International Geothermal Days-Oregon 1999.
2. Bertani, R., 2005, World Geothermal Generation 2001-2005: State of the Art. Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005
3. DiPippo, R., 1999, Small geothermal Power Plants: Design, Performans and Economics. In: Small-Scale Electric Power Generation & Geothermal Heat Pumps Ed. Kiril Popovski vd. International Summer School On Direct Application of Geothermal Energy.
4. Hudson, R.B., 1990, Electricity generation. In Dickson M.H. and Fanelli M., (eds.) Small Geothermal Resources: A guide to Development and Utilisation, Rome, UNITAR/UNDP Center for Small Energy Resources, pp. 71-97
5. Koçak, A., 1994, Türkiye’de Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Kullanımı, Türkiye
6. Enerji Kongresi, Cilt 1, Sayfa 69-82.
6. Koçak, A., 2005 Excursion Guidebook of World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005

7. Lund, W., J., Freeston, H., D., Boyd, L., T., 2005. World-Wide Direct Uses of Geothermal Energy 2005. Proceedings of World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005
8. MTA Arşiv Raporları.
9. Mertoğlu, O., 1997, Geothermal District Heating Systems in Turkey. In Strategy of Geothermal Development in Agriculture in Europe at the end of 20. Century, ANKARA-TURKEY.
10. Şimşek, Ş., 1988, Importance of Geothermal Energy in Turkey. International Mediterranean Congress on Solar and Other Renewable Energy Resources, Antalya-Türkiye.
11. 1999 Enerji Raporu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Ankara.