

JEOTERMAL ENERJİDEN YARARLANMADA TÜRKİYE'NİN DÜNYADAKİ KONUMU VE POTANSİYELİ

Arş. Gör. Ahmet DAĞDAŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü-İSTANBUL

e-mail: dagdas@yildiz.edu.tr

ÖZET

Ülkemiz jeotermal enerji potansiyeli bakımından 31500 MWt güç ile Avrupa'da 1. dünyada ise 7. sırada bulunmaktadır. 2004 yılı itibarıyla bu potansiyelimizin ancak %3-3,5'undan yararlanabilmekteyiz. Bölgesel ısıtma, sera ısıtması ve kaplıcada yararlanma gibi doğrudan kullanım uygulamaları bakımından ise 992 MW ile dünyada 5. sıradayız. Dünyada halen 21 ülke jeotermal enerjiden elektrik enerjisi üretebilmektedir. Ülkemiz, Denizli-Kızıldereli'deki tek jeotermal güç santralinin sahip olduğu 20,4 MW'lık güç kapasitesi ile dünyada 16.sırada bulunmaktadır. Yapılan analizlere göre toplam güç üretim potansiyelimiz 765 MW_e olarak hesaplanmıştır. Bu potansiyelimizin de ancak %1,5'inden yararlanabilmekteyiz.

Bu makalede, dünyadaki ve ülkemizdeki çeşitli jeotermal yararlanma uygulamaları hakkında bilgi verilmiş ve ülkemizin dünyadaki konumu belirtilerek, jeotermal enerji potansiyelimizden daha fazla yararlanmak için çeşitli öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelime: Jeotermal, jeotermal potansiyel, jeotermal ısıtma, jeotermal elektrik üretimi,

1. GİRİŞ

1970'de yaşanan petrol krizi ile petrol fiyatları yükselmiş ve dünyada ciddi anlamda bir enerji krizi başlamıştır. Özellikle petrol kaynaklarına sahip olmayan tüm ülkeler, kendi ülkelerinde var olan çeşitli potansiyel enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Bu çalışmalar arasındaki en önemli paylardan birisi de jeotermal enerjiden yararlanma üzerine olmuştur. Özellikle volkanik ve sismik açıdan uygun bir kuşak üzerinde olan ülkeler, bu çalışmalarla yakından ilgilenmiş ve enerji üretimi konusunda alternatif projeler geliştirerek, bunları uygulamaya çalışmışlardır. Jeotermal enerjiden yararlanma açısından bu gün en ileri seviyede olan ülkeler arasında, ABD, İtalya, Japonya, Meksika, Yeni Zelanda, Endonezya ve Filipinler'i saymak mümkündür.

Ülkemizin enerji üretimindeki dışa bağımlılığı %65 oranındadır (Akkuş vd., 2002). Bu durum, hem ekonomik hem de siyasi olumsuzlukları beraberinde getirmektedir. Bu sonuçları ülkemiz lehine çevirmek, mümkün olduğunca yerli kaynaklardan enerji üretmemize bağlıdır. Sahip olduğumuz önemli enerji kaynaklarımızdan birisi de jeotermal enerjidir. Türkiye'de 600'den fazla jeoter-

Arş. Gör. Ahmet DAĞDAŞ

1993 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünden Lisans, 1997 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Makinaları Bilim Dalından Yüksek Lisans derecelerini almıştır. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Makinaları Doktora programında tez aşamasını tamamlamıştır. Jeotermal enerji uygulamaları konusunda çalışma ve araştırmalar yapmaktadır. Ayrıca Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Hidromekanik ve Hidrolik Makinalar Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

707,57 u Ege Bölgesindedir. Bu kaynakları en verimli şekilde yararlanmak ulusal enerji politikamız olmalıdır.

Sahip olunan kaynaklarla birlikte ülkemizin görünür jeotermal güç kapasitesi 3138 MW'dir. Bu potansiyelin ülke ekonomisine yıllık katkısı, yaklaşık 3 milyar \$ olarak hesaplanmıştır. Ayrıca jeotermal elektrik üretim potansiyelimiz 765 MWe'dir (Akkuş vd., 2002).

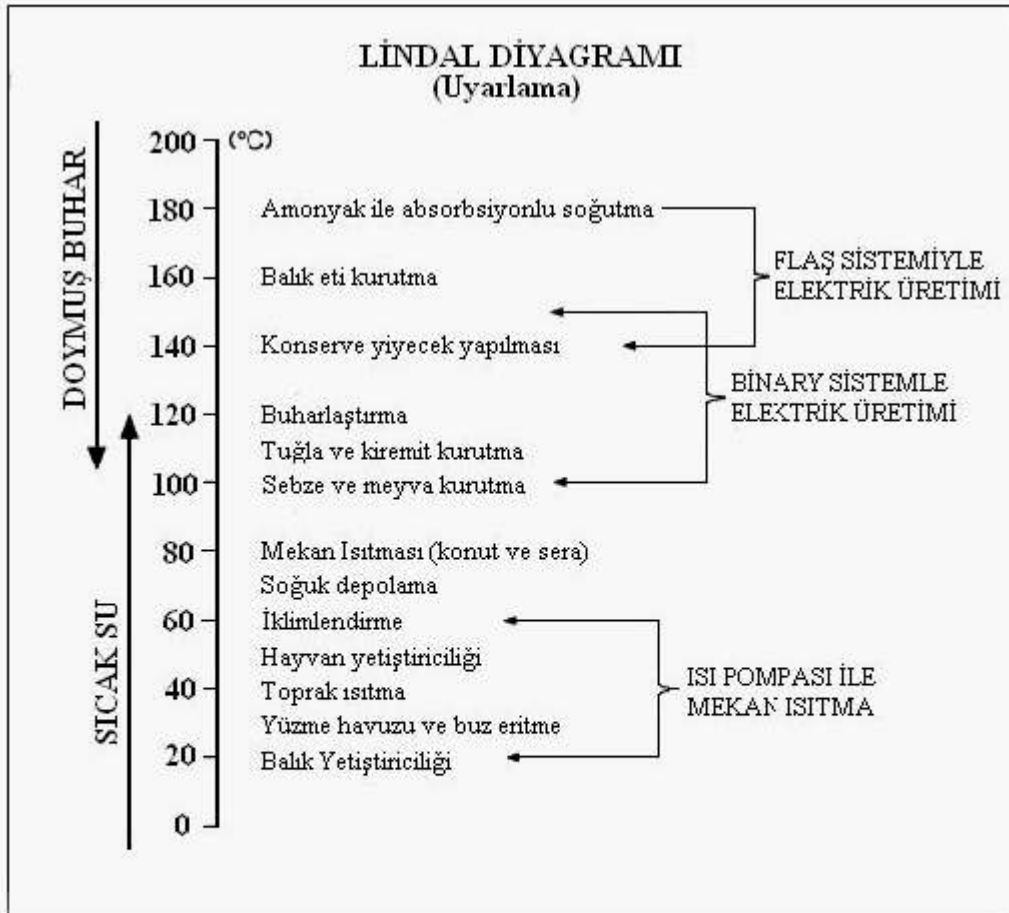
2. JEOTERMAL ENERJİDEN YARARLANMA ALANLARI

Jeotermal enerji kaynaklarını başlıca dört sınıfa ayırmak mümkündür.

- Yüksek sıcaklıklı kaynaklar ($T > 150 \text{ }^\circ\text{C}$)

- Düşük sıcaklıklı kaynaklar ($T < 90 \text{ }^\circ\text{C}$)
- Isı pompası uygulamalarına uygun olan kaynaklar ($T < 35 \text{ }^\circ\text{C}$)

Sıcaklığı ne olursa olsun jeotermal enerji kaynaklarından bir çok alanda yararlanmak mümkündür. Başlıca kullanım alanları, elektrik üretimi, mekan ve bölgesel ısıtma sistemleri, sera ısıtma uygulamaları, endüstriyel proses ısı sağlama uygulamaları, balneolojik amaçlı yararlanma, kaplıca, yüzme havuzu ve buz eritme sistemlerinde yararlanmadır. Bu alanları detaylı olarak ifade etmek üzere Lindal diyagramı hazırlanmıştır. Şekil 1'de Lindal diyagramından uyarlanan çeşitli kullanım alanları gösterilmektedir.



Şekil 1: Lindal Diyagramı

3. JEOTERMAL ENERJİDEN YARARLANMANIN TARİHSEL GELİŞİMİ

Jeotermal kaynaklardan yararlanma tarih boyunca süregelmiştir. Özellikle ülkemizde bulunan, jeotermal kaynakları ile ünlü antik şehirler buna en önemli kanıttır. Örneğin Denizli'de bulunan Pamukkale (Hierapolis) antik kentinin 2. yüzyıldaki restorasyonu, ünlü

ABD-The Geysers'de açılmıştır. İzlanda, jeotermal enerjiden ısıtmada yararlanma uygulamalarına 1928 yılında başladı. Aynı yıllarda, İtalya-Larderello'daki düşük kaliteli buhar, çevredeki köylerin ısıtılması ve sıcak su ihtiyaçlarının karşılanması için ısı değiştiricilerde kullanılmaya başlanmıştır (Dickson ve Espelli, 1995).

antık kentünün o çağlardaki popülaritesi, unlu jeotermal kaynaklarından ileri gelmektedir. Jeotermal kaynaklardan endüstriyel anlamdaki ilk yararlanma 19. yy'ın başlarında kimya sektöründe olmuştur. İtalya-Larderello'da o yıllarda kurulan bir kimya tesisinde, sıcak sudan borik asit üretimi yapılmakta idi. Bu amaçla Larderello sahasındaki doğal kuyular ya da sonradan açılan sığ kuyular kullanılmıştır. Borik asit, çıkartılan sıcak suyun kazanlarda buharlaştırılması ile elde ediliyordu. Kazanda yakıt olarak çevre ormanlardan toplanan odunlar kullanılıyordu. 1827'de bu kimya tesisinin sahibi Francesco Larderel, buharlaşma prosesinde ormanları hızla tüketen yöntem yerine, borlu akışkanın ısısından yararlanan bir sistem geliştirdi. Çıkartılan doğal buharın mekanik enerjiye çevrilmesi çalışmaları da aynı yıllarda başladı. Jeotermal buhar, ilkel asansörlerdeki sıvının yükseltilmesinde kullanılıyordu. Daha sonra pistonlu ve santrifüj pompalarda ve vinçlerde kullanıldı. Tüm bu araçlar, kuyu açma aktiviteleri ile ya da yerel borik asit endüstrisi ile ilgili araçlardı.

Jeotermal buhardan ilk elektrik üretme girişimi 1904 yılında Larderello'da yapıldı. Bu girişimin başarıyla sonuçlanması, jeotermal enerjinin endüstriyel anlamdaki değerinin artmasına sebep olmuştur. Larderello'daki elektrik üretimi ciddi bir ticari başarı olarak değerlendirilmiştir. 1940 yılına kadar, kurulu jeotermal elektrik kapasitesi 126,8 MW_e'ye ulaşmıştır. İtalya'daki bu örnek tesis, diğer ülkeleri de harekete geçirdi. İlk jeotermal kuyular, 1919'da Japonya-Beppu'da ve 1921'de

ve Faneili, 1995).

Ülkemizde jeotermal sular ile ilgili araştırmalar, MTA bünyesinde 1962 yılında başlamıştır (Hepbaşlı ve Çanakçı, 2003). Türkiye, jeotermal enerjili ısıtma uygulamalarından yararlanmaya ise 1964 yılında Gönen Park Oteli ile başlamıştır. Balıkesir-Gönen'de 1987 yılından beri jeotermal bölgesel ısıtma sistemi uygulanmaktadır. Sistemin termal kapasitesi 11,42 MW_t'dir. Ayrıca ilçedeki tabakhanelerin sıcak su ihtiyaçları da jeotermal enerjiyle sağlanmaktadır (Jeotermal Enerji Çalışma Grubu Raporu, 1996). Ülkemizde şu an 11 adet jeotermal şehir ısıtma sistemi bulunmaktadır. Bu sistemler ve işletmeye alınma tarihleri Tablo 5'de gösterilmektedir.

Ülkemizdeki ilk jeotermal elektrik santrali, Denizli Kızıldere'de 0,5MW_e'lik kurulu kapasite ile 1974'te yapılmıştır. 1984 yılında ise aynı sahada 20,4 MW_e kapasiteli yeni bir santral inşa edilmiştir. Halen Aydın-Germencik jeotermal sahasında Türkiye'nin ikinci jeotermal güç santrali inşasına devam edilmektedir. Bu santral, bir süre sonra 25 MW_e'lik ilk kapasite ile işleme açılacak ve daha sonra da kapasitesi kademeli olarak 100 MW_e'ye çıkartılacaktır. 2002 yılında Türkiye'nin toplam elektrik üretiminde jeotermal kökenli elektriğin payı %0,05 olmuştur (Mertoğlu vd., 2003).

4. DÜNYADAKİ JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ VE KULLANIMI

Yerkabuğunun ilk 9,5 km'lik mesafesinde varolan termal enerji, dünyanın tüm petrol ve

gaz rezervlerinde varolan enerjiden yaklaşık 50 000 kez daha fazladır (US DOE, 1997). Jeotermal kaynaklar dünyanın en büyük enerji kaynaklarıdır. Dünyanın merkezi, yüzeyden 6400 km derindedir. Mağma tabakası denilen bu bölgenin sıcaklığı en iyi tahminlere göre 4000 °C dolaylarıdır. Yapılan bir araştırmaya göre dünyanın içerisinde varolan enerji, 15 °C'lik yüzey sıcaklığına göre yaklaşık 12.6×10^{24} MJ'dür (Dickson ve Faneili, 1995). Bu enerji potansiyeli olağanüstü bir potansiyeldir. Bizler bu potansiyelin çok

ler özellikle sık depremler üreten fay hatlarının olduğu bölgelerde bulunmaktadır. Dünyadaki başlıca jeotermal sahaları, Batı ABD, Batı Anadolu, İtalya, Meksika, Filipinler, Yeni Zellanda, İzlanda, Japonya gibi yerlerde bulunmaktadır. Belirtilen yerlerde tarih boyunca büyük ve orta ölçekli depremler süregelmiş ve halen de sürmektedir. Gerçekleşen deprem aktiviteleri ile mağma tabakası yüzeye yakın bölgelere kadar ulaşarak üzerindeki uygun bölgelerde sıcak su oluşumunu sağlamıştır.

çok az bir kısmından yararlanabilmekteyiz. Şubat 2000 itibariyle, halen 21 ülke je -
Yararlanma sahaları da ancak jeolojik açıdan otermal enerjiden elektrik üretmektedir. Dün
uygun olan yerlerden olabilmektedir. Bu yer - ya çapında kurulu güç 7974 MW_e'ye ulaş -

Tablo 1: Jeotermal kurulu elektrik güç kapasitelerinin ülkelere göre dağılımları					
Ülke	1995 (MW _e)	2000 (MW _e)	2005 MW _e (tahmini)	1995-2000 arası artış	% artış
1. ABD	2816,7	2228	2376	-588	---
2. Filipinler	1227	1909	2673	682	55,8
3. İtalya	631,7	785	946	153,3	24,3
4. Meksika	753	755	1080	2	0,3
5. Endonezya	309,75	589,5	1987,5	279,75	90,3
6. Japonya	413,705	546,9	566,9	133,195	32,2
7. Y. Zelandada	286	437	437	151	52,8
8. İzlanda	50	170	186	120	240
9. El Salvador	105	161	200	56	53,3
10. Kosta Rika	55	142,5	161,5	87,5	159
11. Nikaragua	70	70	145	0	0
12. Kenya	45	45	173	0	0
13. Guatemala	0	33,4	33,4	33,4	---
14. Çin	28,78	29,17	---	0,39	1,35
15. Rusya	11	23	125	12	109
16. Türkiye	20,4	20,4	250	0	0
17. Portekiz	5	16	45	11	220
18. Etiyopya	0	8,52	8,52	8,52	---
19. ransa	4,2	4,2	20	0	0
20. Tayland	0,3	0,3	0,3	0	0
21. Avustralya	0,17	0,17	---	0	0
22. Arjantin	0,67	0	---	-0,67	---
Toplam	6 833,375	7 974,06	11 414,12	1 141,385	16,69

TESİSAT MÜHENDİSLİĞİ / Mart-Nisan 2004

mıştır. Bu güç 1995'ten beri %16,7 artmış -
tır. Üretilen toplam enerji 49 261 GWh'a
ulaşmıştır. 1995-2000 yılları arasında de -
rinliği 100 m'den daha büyük olan 1165 adet
kuyu açılmıştır (Hutter, 2000). Belirtilen yıl -
lar arasında Güneydoğu Asya'da patlak ve -
ren ekonomik kriz ve ABD-The Geysers je -

saati için kullanıldığını gösterir. Dünya ça -
pındaki ortalama yük faktörü ise 0,40 olmak
tadır (Lund ve Freeston, 2001). Türkiye'nin
de aralarında bulunduğu ilk beş ülke, mev -
cut kapasitenin %63,5'inden yararlanmakta -
dır. Ülkemizin kullandığı kapasitenin toplam
içerisindeki payı ise %6,47 olmaktadır. Bu
kullanım oranı ile dünyada 5. sırada bulun -
maktayız.

Tablo 2: Dünya jeotermal kurulu elektrik güç toplam kapasitelerinin gelişimi

Yıl	Kurulu Güç (MW _e)	Artış (%)
1980	3887	
1985	4764	22,6
1990	5832	22,4
1995	6833	17,2
2000	7974	16,7
2005	11398 (tahmini)	42,9 (tahmini)

Tablo 3: Dünya jeotermal doğrudan kullanım istatistikleri

Ülke	Debi (kg/s)	Kapasite (MW _t)	Kapasite faktörü
1. ABD	4550	3766	0,17
2. Çin	12677	2282	0,53
3. İzlanda	7619	1469	0,44
4. Japonva	---	1167	0,73

otermal sahasında üretilen buhar miktarının ve kaynak kalitesinin azalması, jeotermal güç üretimi konusunda ciddi bir artış olmasını engellemiştir. Bu olumsuzluklar olmaması olsa idi bugünkü jeotermal kapasitenin daha fazla olması beklenebilirdi. Tablo 1'de 2000 yılı verilerine göre dünyadaki jeotermal elektrik üreten ülkelerin kurulu güçleri gösterilmektedir (Hutter, 2000). Tablodaki ülkeler 2000 yılındaki güç kapasitelerine göre sıralanmışlardır. Bu tablodan da görüldüğü gibi ülkemiz halen 16. sırada bulunmaktadır.

Jeotermal enerjiden güç üretimi konusunda 1980 yılından itibaren beşer yıllık periyotlardaki güç kapasiteleri ve artış yüzdeleri Tablo 2'de görülmektedir (Hutter, 2000).

Tablo 3, dünyadaki jeotermal enerji doğrudan kullanım uygulamalarının ülkelere göre dağılımını ve sıralamasını göstermektedir (Lund ve Freeston, 2001) (Mertoğlu vd., 2003). Kapasite faktörü, kullanım miktarının bir göstergesidir. Yani 1,0'lık bir yük faktörünün anlamı, sistemin tüm yıl boyunca maksimum kullanıldığını, 0,5'lik bir kapasite faktörü ise sistemin yılda 4380 eşdeğer tam yük

5. Türkiye	700	992	0,61
6. İsviçre	120	547,3	0,14
7. Macaristan	677	472,7	0,27
8. Almanya	371	397	0,13
9. Kanada	---	377,6	0,09
10. İsveç	455	377	0,35
11. Fransa	2793	326	0,48
12. İtalya	1656	325,8	0,37
13. Rusya	1466	308,2	0,63
14. Yeni Zelanda	132	307,9	0,73
15. Avusturya	210	255,3	0,20
16. Gürcistan	894	250	0,80
17. Meksika	4367	164,2	0,76
18. Ürdün	574	153,3	0,32
19. Romanya	890	152,4	0,60
20. Slovakya	623	132,3	0,51
21. Hırvatistan	927	113,9	0,15
22. Bulgaristan	1690	107,2	0,48
23. Cezayir	516	100	0,50
24. Makedonya	761	81,2	0,20
25. Finlandiya	---	80,5	0,19
26. Sırbistan	827	80	0,94
27. Hindistan	316	80	1,00
28. Polonya	242	68,5	0,13
29. İsrail	1672	63,3	0,86
30. Yunanistan	258	57,1	0,21
31. Slovenya	656	42	0,53
32. Kore	1054	35,8	0,67
33. Avustralya	90	34,4	0,32
34. Arjantin	2515	25,7	0,55
35. Tunus	---	23,1	0,28
36. Litvanya	13	21	0,90

37. Kolombiya	222	13,3	0,63
38. Çek Cumhuriyeti	---	12,5	0,33
39. Hollanda	---	10,8	0,17
40. Danimarka	44	7,4	0,32
41. Portekiz	49	5,5	0,20
42. Norveç	---	6	0,17
43. Guatemala	---	4,2	0,88
44. Belçika	58	3,9	0,87
45. Britanya Adası	25	2,9	0,23
46. Peru	---	2,4	0,65
47. Endonezya	---	2,3	0,59
48. Kenya	---	1,3	0,25
49. Nepal	25	1,1	0,66
50. Yemen	---	1,0	0,48
51. Filipinler	---	1,0	0,79
52. Mısır	---	1,0	0,58
53. Ermenistan	---	1,0	0,48
54. Honduras	12	0,7	0,76
55. Tayland	---	0,7	0,68
56. Venezuela	---	0,7	0,63
57. Şili	---	0,4	0,55
58. Karayip Adaları	---	0,1	0,62
TOPLAM	52 746	15 317	0,40

Tablodan görülebileceği gibi dünya çapındaki jeotermal enerjiden doğrudan yararlanma kapasitesi 15 317 MW \pm olmaktadır. Bu kapasiteyi sağlamak için kullanılan toplam jeo-

POTANSİYELİ VE KULLANIMI

Jeotermal sular ile ilgili ilk araştırmalar 1962 yılında MTA tarafından başlatılmıştır. O zamandan beri elde edilen istatistiklere göre, ülkemizin teorik jeotermal elektrik güç potansiyeli yaklaşık olarak 4500 MW_e iken teorik jeotermal ısıtma potansiyeli ise 31500 MW_t'dir (Hepbaşlı ve Çanakçı, 2003). Bu potansiyelimiz, şu anda dünyada kullanılan jeotermal gücün yaklaşık 2 katı kadardır. Belirtilen potansiyelin ekonomik değeri ise 10,7 milyar \$ olarak hesaplanmıştır (Acar, 2003). Türkiye'de jeotermal enerjiden yararlanma konusundaki en önemli faaliyetler doğrudan kullanım uygulamalarıdır. Halen jeotermal enerjiden yararlanarak 61 000 konut eşdeğeri ısıtma yapılmaktadır. (Mertoğlu vd., 2003) Mühendislik tasarımı açısından 300 000 konut eşdeğeri ısıtma projesi tamamlanmıştır (Hepbaşlı ve Çanakçı, 2003). Konut ısıtmasında ve toplam 565 000 m²'lik sera ısıtmasında yararlanılan termal

kapasiteyi sağlamak için kullanılan toplam jeoakışkan debisi ise 52 746 kg/s'dir. Elde edilen toplam termal kapasitenin çeşitli doğrudan kullanım uygulamalarına göre dağılımı; banyo ve yüzme havuzu ısıtması %42, mekan ısıtma uygulamaları %23, jeotermal ısı pompası uygulamaları %12, sera ısıtması %9, aquakültür uygulamaları %6, endüstriyel uygulamalar %5, diğer kullanımlar %2, tarımsal kurutma, kar eritme ve iklimlendirme uygulamaları %1 olmaktadır (Lund ve Freeston, 2001).

1995-2000 yılları arasındaki 5 yıllık periyotta, Türkiye, Kanada, Almanya, İsviçre ve İsveç doğrudan kullanım uygulamalarındaki en büyük artışı gerçekleştirmişler ve kapasitelerini yaklaşık iki katına çıkarmışlardır. Türkiye, çok sayıda yeni bölgesel ısıtma sistemini devreye almıştır.

5. TÜRKİYEDEKİ JEOTERMAL ENERJİ

kapasite 665 MW 'dir. Jeotermal akışkan, 195 adet kaplıcada sağlık amaçlı kullanılmaktadır. Buralardaki kullanım kapasitesi 327 MW'dir. Bu durumda, doğrudan kullanım uygulamalarındaki toplam kapasite 992 MW olmaktadır (Mertoğlu vd., 2003). Şu andaki tahmini jeotermal kapasitemiz 31 500 MW olduğu göz önüne alınırsa, mevcut teorik potansiyelimizin ancak %3,2'sinden yararlanılabilmektedir. Ülkemizdeki tüm kuyulardan ve artezyenlerden elde edilen jeotermal akışkanların görünür kapasitesi ise 3138 MW'dir (Akkuş vd., 2002).

5.1 Elektrik Üretimi

Elektrik üretimi açısından jeotermal enerji potansiyelimiz 765 MW_e'dir. Ancak ispatlanmış durumdaki kapasite 200 MW_e civarında görünmekteyken bazı çalışmalarla bunun 350 MW_e'ye ulaşacağı belirtilmektedir. Halen tek jeotermal elektrik santralimiz olan Kır

zıldere jeotermal güç santralinde ortalama 12 MW_e'lik güç üretilmektedir. Yani mevcut jeotermal güç potansiyelimizin de %1.5'inden yararlanabilmekteyiz. Ülkemizde elektrik üretmeye uygun olan jeotermal kaynaklar Tablo 4'de gösterilmiştir. Özellikle 2002 yılında Manisa-Salihli-Göbekli'de bulunan jeotermal kaynak henüz literatüre girmemiştir.

Aydın-Germencik sahasında, elektrik santrali kurmak amacıyla, şu ana kadar 9 adet kuyu açılmıştır. Kuyulardan elde edilen toplam debi yaklaşık 400 kg/s, jeoakışkan sıcaklığı 210 °C ve akışkanın kuyu başı basıncı da 15-18 bar'dır. Bu sahada yapı-ilet-devret modeliyle yapılacak santralin yakın bir zamanda işletmeye alınacağı belirtilmektedir literatürde, santralin 25 MW_e'lik güç üreteceği daha sonra da bu gücün 100 MW_e'ye çıkartılacağı ve yatırım maliyetinin 46,7 milyon US\$ olarak belirtilmiştir (Mertoğlu vd., 2003) (Hepbaşlı ve Özgener, 2003).

5.2 Bölgesel Isıtma Sistemleri

Ülkemizde halen işletmede olan 11 adet bölgesel ısıtma sistemi bulunmaktadır. Bu sistemlerin eşdeğer konut kapasiteleri, sistemlere entegre olan kullanımlar, işletmeye alınma yılları, kapasiteleri, kaynak sıcaklığı ve kullanıcılar tarafından 2002-2003 ısıtma sezonunda ödenen ücretler Tablo 5'de gösterilmektedir (Mertoğlu vd., 2003) (Hepbaşlı ve Özgener, 2003).

Tablo 4: Türkiye'de elektrik üretimine uygun jeotermal sahalarda ve rezervuar sıcaklıkları

Jeotermal Saha	Rezervuar Sıcaklığı
Denizli-Kızıldere	242 °C
Aydın-Germencik	232 °C
Manisa-Salihli-Göbekli	183 °C
Çanakkale-Tuzla	174 °C
Aydın-Salavatlı	171 °C
Kütahya-Simav	162 °C
İzmir-Seferihisar	153 °C
Manisa-Salihli-Caferbeyli	150 °C
Aydın-Yılmazköy	142 °C

Tablo 5: Ülkemizdeki jeotermal bölgesel ısıtma sistemleri ve bazı işletme bilgileri

Şehir	Jeotermal Isıtma Kapasitesi (eş)	Sisteme Entegre olan kullanımlar	İşletmeye Alınma Yılı	Jeotermal Akışkan sıcaklığı (°C)	Toplam Kapasite (MW _t)	Kullanıcıları ödediği Aylık Ücret* (US\$)

	değer konut sayısı)	nımlar				
Gönen	3400	K, E	1987	80	11,42	27
Simav	3200	K, S	1991	120	126,44	26
Kırşehir	1800	K	1994	57	45,15	21
Kızılcahamam	2500	K,S	1995	80	20,92	21
Balçova	11 500	K	1996	137	76**	19
Afyon	4500	S	1996	95	221,23	25
Kozaklı	1000	S	1996	90	57,65	28
İzmir-Narlıdere	1500	-	1998	98		19
Diyadin	400	K	1998	78	87,04	belirtilmemiş
Sandıklı	2000/5 000	K	1998	70	32,47	14
Salihli	2000/20 000	K	2002	94	142	15

K: Kaplıca, E:Endüstriyel amaçlı, S:Sera
* (2002-2003 ısıtma sezonu)
**Narlıdere ile birlikte

Tablo 6: Türkiye'deki jeotermal sera uygulamaları ve kapasiteleri

Yer	Alan (m ²)	Kapasite (MW _t) ^a	Yer (m ²)	Alan (MW _t) ^a	Kapasite
Şanlıurfa	106 000	24,5	Dikili	120 000	24
Simav	120 000	33	Gölemezli	1 000	0,2
Sındırgı	2 000	0,4	Seferihisar	6 000	1,06
Afyon	5 500	1,5	Bergama	2 000	0,4
Kızıldere	10 750	2,4	Germencik	500	0,1
Balçova	100 000	17,6	Edremit	49 620	8,7
Kestanbol	2 000	0,4	Ezine	1 500	0,3
Sarayköy	2 000	0,6	Niksar	500	0,14
Tekkehamam	8 000	1,8	Kızılcahamam	5 000	1,45
Yalova	600	0,12	Gediz	8 500	2,1
Kozaklı	4 000	1,2	Tuzla (Ç.kale)	50 000	9

^a Yük faktörü 0,6

İzmir-Dikili

130 °C

Halen Denizli ve Sarayköy bölgesel ısıtma sistemleri üzerinde çalışılmaktadır. Ülkemizde 1983'ten beri jeotermal bölgesel ısıtma sistemine bağlanan konut sayısı, yılda ortalama %23 oranında artmıştır (Merçin vd., 2000).

5.3 Sera Uygulamaları

Son yıllarda meyve ve sebze üretiminin dünyadaki stratejik öneminin artması, sera uygulamalarının yaygınlaşmasına yol açmıştır. Ülkemiz sera yapımına uygun verimli topraklara sahiptir. Sera ürünlerinin ekonomik değerinin daha fazla olması nedeniyle, bu topraklardan özellikle organik tarım ürün-

5.4 Isı Pompası Uygulamaları:

Jeotermal enerjili ısı pompası uygulamaları son zamanlarda oldukça önem kazanmıştır. Bu sistemler yüksek yararlanma ve verimleri nedeniyle klasik ısıtma ve soğutma sistemlerine alternatif olmaktadır. 2000 yılı başı itibariyle 27 ülkedeki toplam kurulu kapasite 6875 MW_t'e ulaşmıştır. Ülkemizde bu güne kadar 207 jeotermal ısı pompası uygulaması kurulmuştur. Bunları toplam kapasiteleri 3 MW civarındadır. 207 uygulamanın, 140 tanesi İstanbul'da bulunmaktadır. Ayrıca 4 adet üniversitede araştırma amacıyla ısı pompası uygulaması yapılmıştır (ODTÜ, Atatürk Üniv, Ege Üniv., Fırat Üniv) (Hepbaşlı

leri yetiştirmek oldukça kazançlı bir değerlendirmeye olacaktır. Sera ısıtması amacıyla kullanılacak en ucuz ısıtma sistemi jeotermal enerjili ısıtmadır. Ülkemizde, 565 000 m²'lik jeotermal ısıtmalı sera uygulaması bulunmaktadır (131 MWt). Türkiye'deki mevcut jeotermal sera ısıtma uygulamalarının yerleri, ısıtılan alanları ve kapasiteleri Tablo 6'da gösterilmektedir (Mertoğlu vd., 2003).

ve Ozgener, 2003).

5.5 Endüstriyel Kullanımlar:

Ülkemizde jeotermal enerjiden endüstriyel amaçlı kullanım çok düşük seviyededir. Bu konuda önemli bir potansiyelimiz bulunmaktadır. Örneğin jeotermal sahalarına yakındaki tüm fabrikalar proses ısı ve mekan ısıtma amaçlarıyla jeotermal enerjiden yararlanabilirler. Özellikle Ege ve Marmara bölgeleri, hem yoğun endüstri bölgelerine

hem de önemli jeotermal sahalara sahiptir. Jeotermal enerjiden çeşitli alanlarda üretim yapmak mümkündür. Şu an ülkemizde jeotermal akışkanlardan kuru buz üretimi, sıvı CO₂ üretimi ve kalsiyum karbonat üretimi yapılmaktadır. Endüstriyel amaçlı bazı jeotermal enerji kullanımları aşağıda belirtilmiştir;

- Denizli-Kızıldere jeotermal santraline entegre olarak çalışan, yılda 120 000 ton kuru buz ve sıvı CO₂ üretimi yapılan tesis (Karbogaz). Sıvı CO₂'nin fiyatının 250\$/ton olduğu düşünülerek, bu tesis ülke ekonomisine yılda 30 milyon \$ kazanç sağlamaktadır (Acar, 2003).
- Balıkesir-Gönen jeotermal sistemine bağlı 54 adet tabakhanenin proses ısı ihtiyacının karşılanması uygulaması
- Ağrı-Diyadin jeotermal sistemine entegre olarak çalışan sıvı CO₂ ve kalsiyum karbonat üretimi yapılan tesisler. Bu sahada 25 ton/yıl sıvı CO₂ ve 7000 ton/yıl kalsiyum karbonat üretimi yapılmaktadır.
- Tekstil endüstrisinde beyazlatıcı olarak kullanım.

5.6 Kaplıca, Termal Tesis ve Diğer Kullanımlar

Son yıllarda ülkemizde sağlık amaçlı kaplıca kullanımı (balneoloji) artış göstermektedir. Balneolojik amaçlı, yaklaşık 40 °C sıcaklığa sahip debi potansiyelimiz 50 000 kg/s'dir. Bu debiyle günde 8 milyon kaplıca müşteri hizmet verilebilir (Mertoğlu vd., 2003).

Ülkemizde aşağıda belirtilen jeotermal tesisler ve jeotermal uygulamalar da mevcuttur (Mertoğlu vd., 2003)

- 70 °C'lik jeoakışkan ile ısıtılan Balçova ter-

kaplıcası yerden ısıtma sistemi. Isıtılan toplam alan 1000 m²'dir.

- 54 °C'lik jeoakışkan ile ısıtılan Rize-Ayder termal tesisleri. Deniz seviyesinden 1700 m yükseklikte bulunmaktadır.
- 43 °C'lik jeoakışkan ile ısıtılan Haymana'daki iki adet cami. Jeotermal akışkan artezyen olarak çıktığından işletme maliyeti neredeyse hiç yoktur. Plastik borularla yerden ısıtma yapılmaktadır. Jeoakışkan çok temiz olduğundan kabuklanma ve yakorozyonu önleyen inhibitör kullanımı yoktur.
- 46 °C'lik jeoakışkan ile ısıtılan Sivas Çermik kaplıcası. Isıtılan alan 2100 m²'dir. Akışkan sera ısıtmasında da kullanılmaktadır.
- 68 °C'lik jeoakışkandan ısıtma, banyo ve tedavi amacıyla yararlanılan Afyon- Gazlıgöl kaplıcası.
- 48 °C'lik jeoakışkandan, ısıtma, banyo ve tedavi amacıyla yararlanılan Oruçoğlu Termal Tesisleri.
- 56 °C'lik jeoakışkandan, ısıtma ve balneolojik amaçlı yararlanılan Çankırı-Çavundur termal tesisleri.
- 44 °C'lik jeoakışkandan, ısıtma, banyo ve balneolojik amaçlı yararlanılan Bolu-Karacasu termal tesisleri.

5.7 Jeotermal Enerjinin Ülkemizdeki

Yararlanma Oranları:

Öncelikle belirtmeliyiz ki, ülkemizdeki jeotermal sistemler hakkında çeşitli araştırmacıların verdiği datalar arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu konudaki araştırmaların tek elden toplanması zorunluluğu

- 70 °C'lik jeoakışkan ile ısıtılan Balçova termal tesisleri.
- 125 °C'lik jeoakışkan ile ısıtılan Balçova Thermal Princess Hotel.
- 78 °C'lik jeoakışkan ile ısıtılan Gediz kaplıcası ve moteli.
- 54 °C'lik jeoakışkandan yararlanan Havza

termal tesislerinin tek bir enerji toplama noktasına sahiptir. Şu anda işletilmekte olan 11 adet jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin, literatürde belirtilen toplam kapasitesi 820 MW'tir (Hepbaşlı ve Özgener, 2003) (Akkuş vd., 2002) (Tablo 5). Diğer bir çalışmada ise tüm doğrudan kullanım uygulamalarının toplam

kapasitesi de 992 MW_t olarak ifade edilmektedir. Bu toplamın 665 MW_t'i konut, mekan ve sera ısıtma kapasitesi, 327 MW_t'inin de kaplıca uygulamalarının kapasitesi olduğu ifade edilmiştir (Mertoğlu vd., 2003). Teorik jeotermal potansiyelimiz ise 31500 MW_t'iken, sadece doğal çıkışların boşalıklarına göre potansiyel 600 MW_t'dir. Açılan kuyulardan elde edilen jeotermal akışkanların verilerine göre toplam kanıtlanmış jeotermal potansiyelimiz 3138 MW_t'dir (Akkuş vd., 2002). Elektrik üretimi için uygun olan sahalarda açılan kuyulardaki verilere göre elektrik güç potansiyelimiz 764,81 MW_e. Jeotermal bölgesel ısıtma uygulaması yapılan sahalarda açılan kuyulara göre mekan ve bölgesel ısıtma potansiyelimiz ise 1039 MW_t'dir (Akkuş vd., 2002).

Bu verilere göre; teorik potansiyelimizin yaklaşık %3'ü, görünür kapasitemizin ise yaklaşık %31'i mekan, bölgesel ve sera ısıtması uygulamalarında, görünür elektrik kapasitemizin %1.5'i de elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Bu rakamlardan da anlaşılacağı gibi, jeotermal enerjiden yararlanma adına kat edilecek daha çok yolumuz olduğu bir gerçektir. Bu bağlamda Avrupa'nın önemli jeotermal kaynaklarına sahip ülkesi olan İtalya ile mukayese yapılabilir. İtalya'da jeotermal enerjiden özellikle elektrik üretimi konusunda yararlanılmaktadır. Jeotermal kaynaklardan ticari anlamdaki ilk elektrik üretimi 1913 yılında 250 kW_e güç ile başlamıştır. 2000 yılı itibarıyla ülkenin jeotermal elektrik kurulu gücü 788,5 MW_e'ye ulaşmıştır. İtalya'da jeotermal enerjiden doğrudan yararlanma uygulamalarının ulaştığı güç kapasitesi ise 325 MW_t'dir. Elektrik üretim kurulu gücünün oldukça yüksek olma sebebi, ülkede yüksek entalpili jeotermal kaynakların fazla olmasındandır. Ayrıca jeotermal araştır-

(Cappetti vd., 2000). Ülkemizde 1995-1999 yılları arasında jeotermal yatırımlar için yapılan toplam yatırım 10 milyon \$ olmuştur. Aynı periyotta, jeotermal elektrik ve doğrudan kullanım uygulamaları için yapılan yatırım ise 15 milyon \$'dır (Batık vd., 2000)

6. Ekonomik Analizler:

Jeotermal enerjinin üretim maliyeti diğer enerji türlerinden çok daha ucuzdur. Jeotermal santralin ülkemiz şartlarındaki yapım maliyeti 850-1250 \$/kWh iken bölgesel ısıtma sistemi yapım maliyeti ise 300 \$/kWh'dir. Jeotermal enerjili ısıtma için konut başına maliyet yaklaşık 2000 \$'dır (konut içi sistem kurulumu dahil fakat radyatörler hariç). Bu yatırımın geri ödeme süresi 5-8 yıl'dır (Batık vd., 2000). Tablo 7, ülkemizdeki ısıtma uygulamaları için kullanılan bazı enerji tiplerinin 2002 yılı için birim maliyetlerini göstermektedir. Bu değerlere vergiler dahildir. Jeotermal enerji için ortalama değer olan 0,75 cents/kWh alınır, jeotermal enerji doğal gazdan %66, fuel-oilden %81, dizel yakıtından %90, elektrikten %92, ithal kömürden %69, LPGden %89 daha ucuzdur (2002 yılına göre) (Acar, 2003).

Tablo 7: Ülkemizde ısıtma için kullanılan bazı enerji tiplerinin maliyetleri (2002 yılı için)

Yakıt	Maliyet (cents/1000 kcal)	Maliyet (TL/kWh)
Doğal gaz	2,567	2,213
Fuel-oil	4,606	3,976
Dizel	8,702	7,483
Elektrik	10,559	9,081
İthal kömür	2,813	2,420
LPG (12 kg)	8,097	6,862
Jeotermal	0,580-1,160	0,5-1,0

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER:

metodları ile değerlendirilmelidir. Bu günkü şartlarda ülkemizde, jeotermal enerjiden yararlanma denildiğinde neredeyse sadece kaplıca uygulamaları akla gelmektedir. Oysa kaplıca tipi uygulamalar, yararlanma basamaklarının son kademesini oluşturması gerekirken ülkemizin bir çok yerinde ilk kademesini oluşturmaktadır. Bu uygulamalar zengin jeotermal rezervuarlarımızın hızla tükenmesine sebep olmaktadır. Bu konuda ve rileyebilecek en güzel örnek, Denizli Pamukkale ve Karahayıt örnekleridir. Pamukkale'de bulunan otellerin kaldırılması, Pamukkale travertenlerinin kurtarılmasına yetmemiştir. Çünkü Pamukkale ile Karahayıt arasında açılan lüks oteller, açtıkları sondaj kuyuları ile rezervuarı israf edencesine kullanmaktadır. Yine Karahayıt'ta hemen hemen her ev, kaplıca turizmi adı altında sondaj kuyuları açmakta ve evlerini pansiyona dönüştürerek jeotermal akışkanı kullanmaktadır. Bu uygulamalar sonucunda jeotermal rezervuar hızla tükenme noktasına doğru gelmektedir. Ülkemizde henüz jeotermal kaynaklardan yararlanma uygulamalarını düzenleyen bir kanunun olmaması bu tip olumsuzlukların temel sebebi olduğundan, konu ile ilgili kanun ve yönetmelikler acilen çıkartılmalıdır.

Günümüz teknolojileri ile 35-40 °C'lik kaynaklardan bile ısıtma uygulamaları yapılabilir. Bu sıcaklığa sahip çok miktarda jeotermal suyumuz dere, göl ve kanalizasyonlara karışarak boşa harcanmaktadır. Oysa bu tip kaynaklar ısıtma sistemlerinde kullanılabilir gibi çeşitli aquakültür uygulamalarında da yararlanılabilir (Dağdaş, 2003).

Özellikle düşük sıcaklıklı kaynakların var olduğu ve kış mevsimin çok sert geçtiği Doğu Anadolu bölgesi için jeotermal kaynaklar ile balık yetiştiriciliği uygulamaları, bölge halkına ve ülke ekonomisine önemli bir kazanç meydana getirebilir. Ağrı-Diyadin, Bingöl-Kös, Bitlis-Ilıcaköy, Diyarbakır-Çermik, Elazığ-Kolan, Erzurum-Ilıca, Pasinler, Kığılızman, Meman, Kahramanmaraş-Süleymanlı, Mardin, Siirt, Van-Erciş gibi yerlerde bulunan düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklar aquakültür uygulamalarında kullanılabilir. Gelişmiş ülkelerde düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklar kullanılarak yaya kaldırımlarında, yollarda, uçak pistlerinde oluşan buzlanmayı önleyici tasarımlar yapılmaktadır. Kış mevsiminin giderek sertleştiği ülkemizde, bu tip kar ve buz önleyici projelere gereksinim duyulmaktadır. Jeotermal akışkanın taşınması 60 km'ye kadar ekonomik olabildiğinden kaynaklara yakın şehirlerin havaalanları, spor tesisleri, fabrikaları, yüzme havuzları jeotermal enerji ile ısıtılabilir. Mevcut kaynaklarımızın yok yere tüketilmesini önlemek ve akılcı yöntemlerle jeotermal enerjiden yararlanabilmek için, yeraltı sularının kullanımı ile ilgili yasalar acilen çıkarılmalı ve sektör bir düzene sokulmalıdır. Özellikle bölgesel ısıtma uygulamaları için yerel yönetimlere daha fazla teşvikler sağlanmalı ve ısıtma bazı hava kirliliğinin önüne geçilmelidir. Jeotermal araştırma ve geliştirme faaliyetlerine, İtalya'da olduğu gibi çok daha fazla bütçe ayrılmalıdır.

7. KAYNAKLAR:

- Acar, H.İ., (2003), "A Review of Geothermal Energy in Turkey", Energy Sources, cilt 25 s:1083-1088.
- Akkuş, İ., Aydoğdu, Ö., Sarp, S. (2002) "Ülkemiz Enerji Gereksiniminin Karşılansında Jeotermal Enerjinin Yeri", IV. UTES Bildiriler Kitabı, İstanbul, Cilt II, s.619-628.
- Batık, H., Koçak, A., Akkuş, İ., Şimşek, Ş., Mertoğlu, O., Dokuz, İ., Bakır, N., (2000), "Geothermal Energy Utilisation Development in Turkey - Present Geothermal Situation and Projections", Proceedings World Geothermal Congress, May 28-June 10, Kyushu - Japan, 85-91.
- Cappetti, G., Passaleva, G., Sabatelli, F., (2000) "Italy Country Update Report 1995-1999", Proceedings World Geothermal Congress, May 28-June 10, Kyushu - Japan, 109-116.
- Dağdaş, A., Öztürk, R., (2003), "Jeotermal Enerjiden Aquakültür Uygulamalarında Yararlanmak", Tesisat Mühendisliği dergisi, Sayı 78, s:25-33.
- Dickson, M., Fanelli, M., (1995), Geothermal Energy, John Wiley and Sons, England.
- Hepbaşlı, A., Çanakçı, C., (2003), "Geothermal District Heating Applications in Turkey: A Case Study of İzmir - Balçova", Energy Conversion and Management, 44; 1285-1301.
- Hepbaşlı, A., Özgener, L., (2003), "Development of Geothermal Energy Utilization in Turkey: a review", Renewable Energy and Sustainable Energy Reviews, 2003.
- Hutter, G., (2000), "The Status of World Geothermal Power Generation 1995-2000". Proceedings World Geothermal Congress, May 28-June 10, Kyushu - Japan, 23-37.
- Jeotermal Enerji Çalışma Grubu Raporu, (1996), Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu.-
- Lund, W., Freeston, D., (2001), "Worldwide Direct Uses of Geothermal Energy 2000". Geothermics, 30;29-68.
- Mertoğlu, O., Bakır, N., Kaya, T., (2003), "Geothermal Applications in Turkey", Geothermics, 32;419-428.
- Mertoğlu, O., Canlan, A., Bakır, N., Dokuz, İ., Kaya, T., (2000), "Geothermal Direct Use Application in Turkey: Technology and Economics", Proceedings World Geothermal Congress, May 28-June 10, Kyushu - Japan, 3505-3510.
- US Department of Energy (DOE), (1997), "Geothermal Energy-Power from the Depths", DOE/GO-10097-518 FS 188,1-8.