

# JEOTERMAL ENERJİNİN TÜRKİYE VE DÜNYADA KULLANIMI

Umran SERPEN

## ÖZET

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarının bu yüzyıldaki rol ve önemi vurgulanmaktadır. Jeotermal enerji hakkında verilen kısa bir bilgiden sonra, jeotermal enerjinin yenilenebilirliği kısaca tartışılmaktadır. Jeotermal enerjinin dünyada ve Türkiye'deki doğrudan ve dolaylı kullanımının şimdiki durumu ve potansiyeli rapor edilmektedir. Bundan başka, jeotermal enerji ekonomisi incelenmektedir. Ülkemizdeki jeotermal yasaasının eksikliği tartışılmakta ve sonuçlar sunulmaktadır.

## 1. GİRİŞ

Son on yılda global enerji sermaye harcamaları artı hükümet teşvikleri 400 milyar \$/yıl seviyesine erişmesine rağmen, 21. yüzyıl başında dünya nüfusunun üçte biri uygun enerji hizmetlerine ulaşamamakta ve dünya nüfusunun bu yüzyıl sonunda iki katına çıkması beklenmektedir. Gelişmekte olan ülkeler enerji gereksinimi, 21. yüzyıl sonunda dünya enerji talebinin %80'ni oluşturacaktır [1]. Kişi başına enerji tüketimi ile yaşam süresi, gelişme ve kişi başına üretim arasında güçlü bir ilişkinin var olduğu bilinen bir gerçektir; öte yandan, enerji kullanımı ile bebek ölümleri ve okur-yazarlık arasında da ters bir korelasyon mevcuttur (WEC, 1993). Bu yüzyılda insanlık için en önemli görevlerden biri, üçüncü dünya ve gelişmekte olan ülkelerin yoksul halklarına uygun enerji hizmetlerini, onların ödeyebilecekleri bedellerde ve iklim değişikliğine sebep olmadan (karbon dioksit emisyon seviyelerini arttırmadan) sunmaktır. Bu durumda, yaşadığımız yüzyılda yenilenebilir enerji kaynaklarının devreye girmesi ve önemli rol oynaması beklenmelidir.

WEC-IIASA araştırması [2] 1990-2050 periyodunda birincil enerji kullanımının büyümesini 3 ayrı durum için çalışmış olup, sonuçlar, birincil enerji kullanımı 9 Gtoe'dan 14-25 Gtoe'ya artarken, yenilenebilir enerji payının senaryolara bağlı olarak 1990'daki %18'den 2050'de %22-37 seviyesine artacağını göstermiştir. WEC-IIASA projeksiyonlarına [2] göre, bu yüzyılda, fosil yakıtların maksimum kullanım düzeyi çağı geçecek ve bu yüzyılda birincil enerjideki petrol-doğal gaz payı yavaşça azalacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına bakılacak olursa, bugün geleneksel olanlar enerji tüketiminin %18 kadar katkıda bulunurken, yeni yenilenebilirler (biyomas, güneş, rüzgar ve jeotermal) sadece %2 katkıda bulunabilecektir. Yeni yenilenebilirler 2020'ye kadar, minimum destekle enerji tüketiminin %3-4'ü ve güçlü destekle %8-12'si kadar katkıda bulunabileceklerdir [2]. WEC (1993) araştırmasının sonuçları aşağıdaki [1] gibidir: (1) hidrolik ve jeotermal kaynaklarının geliştirilmesiyle 2020'de global CO<sub>2</sub> emisyonu %10 kadar azaltılacak olup, bunun için yeterli büyük rezervler vardır, (2) hidrolik ve jeotermal genellikle maliyet açısından rekabet edebilir ve diğer enerji kaynaklarına göre daha düşük finansal risk taşımaktadır ve (3) bu tür projelerin özel sermaye tarafından finanse edilmesi bir engel sayılmamalıdır.

Fosil yakıtların çağı bu yüzyılda geçerken, onların oynadığı rolü tek bir enerji kaynağının alamayacağı açıktır. Jeotermal enerji büyük ölçüde yerel olarak kullanılacak ve integrative bir rol oynayacaktır. Öte yandan, eğer bölgesel ve global enerji problemlerine çözümler bulunursa [3], yerel enerji kaynaklarının hem yerel ve hem de ithal edilen enerjinin en iyi şekilde kullanıldığı ulusal şebekeye katılımı önemlidir.

Bundan başka, geçmişte 1970'li ve 1980'li yıllarda olduğu gibi, artan petrol ve gaz fiyatları jeotermal enerjiyi fosil yakıtlarla mukayese edildiğinde daha ekonomik yapacaktır.

Yukarıda bahsedilenlerin ışığı altında, jeotermal enerjinin bu yüzyılda önemli rol oynayacağı açıkça görülmektedir. Bundan ötürü bu çalışmada, jeotermal enerjinin şimdiki durumu, potansiyeli, eğilimler, ekonomisi ve yasal durumu gibi çeşitli yönleri incelenmiş ve sonuçlar sunulmuştur.

## 2. JEOTERMAL ENERJİ

Jeotermal enerji, yerkabuğunda depolanmış tüm ısı enerjileri kapsamaktadır. Jeotermal ısının kaynak ve taşıma mekanizmaları bu enerjiye özgü olup, tektir. Isı akıları, yer kabuğu içinden ortalama 60 mW/m<sup>2</sup> [4] olarak akarlar ve yeryüzündeki ısı deşarjı 40 million MW<sub>t</sub> olarak tahmin edilmektedir. Büyük erimiş kayak kütlelerinin yerkabuğuna girişi bu normal ısı akısını yerel olarak arttırır. Karasal kabuktaki ısı akısı, mantodan ısı iletiminden kaynaklanmaktadır. Yerkabuğunun ince olduğu yerlerde, ısı yüzeye zorlanmış konveksiyonla aktif derin fay zonlarından yükselir.

Jeotermal enerji kullanılabilmesi için, aşağıdaki koşulların oluşması gerekir: (1) ulaşılabilirlik, (2) buhar ve sıcak suyu pazarlanabilir bir ürün haline getirebilmek için dönüşüm teknolojisi ve (3) ticari kullanım için ekonomik olarak rekabet edebilecek proses. Bir ısı üretim prosesi tasarlayabilmek için en önemli gereksinimler, taşınım ve iletimden oluşan doğal taşınma prosesini içeren ulaşılabilirlik, büyük ölçekli depolanmış ısı ve yeryüzüne yakınlıktır.

Jeotermal enerji yenilenebilir olarak tanımlanmasına rağmen, bir çok tanınmış jeotermal sahanın aşırı işletilmesi sonucunda akışkan ve ısı üretimiyle belli bir derecede tükenme (sıcaklık ve özellikle basınçta) sürecine girdiği gözlenmiştir. Örneğin, iyi tanınan Wairakei sahası geçmiş 50 yıldır az bir düşümlerle ortalama 140 MW<sub>e</sub> üretim yapmaktaydı ve çalışmalar adı geçen sahanın bir 50 yıl daha sürdürülebilir olduğunu göstermektedir. Eğer jeotermal kaynaklar kendi doğal beslenmeleri kadar üretirlerse, onlar tam yenilenebilir kaynak olarak tanımlanabilirler. O durumda, küçük ölçekli gelişme dolayısıyla, hiçbir jeotermal işletme sistemi ekonomik olarak ayakta kalamaz. Prichett (1998) [5] ve Rybach et al. (1999) [6] tarafından tükenmiş jeotermal sistemlerin (basınç ve sıcaklık azalması) toparlanması üzerinde yapılan modelleme çalışmaları, aşağıdaki sonuçları ortaya koymuştur: (1) yüksek entalpili sahalarda birçok yüzyıl gerektirir (4 ile 6 yy.), (2) merkezi ısıtma için kullanılan çiftli sistemler bir veya iki yüzyılda toparlanır ve (3) ısı pompalı sistemler geçen üretim zamanı kadar bir zaman içinde toparlanır. Bundan ötürü, jeolojik zaman ölçeğinde oluşan fosil yakıtların aksine, jeotermal kaynaklar teknolojik/toplumsal sistemlerin zaman ölçeğinde yenilenebilir kabul edilebilir.

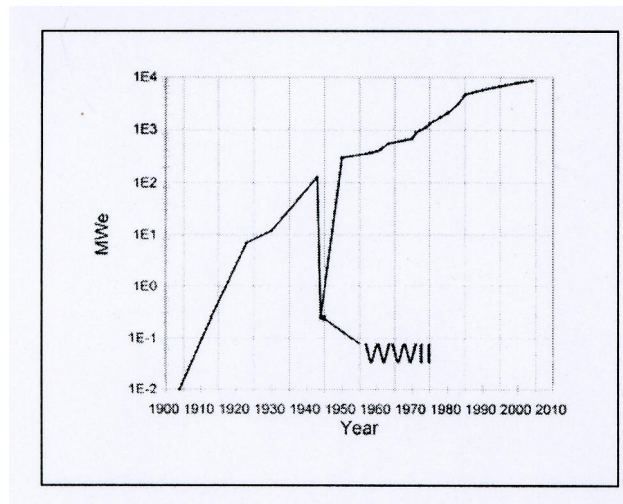
## 3. JEOTERMAL ENERJİNİN DÜNYADAKİ DURUMU

Bilindiği gibi, jeotermal enerjinin doğrudan ve dolaylı kullanımları vardır. Elektrik üretimin başlangıcından 100 yıl sonra, jeotermal santrallerin kurulu güç kapasitesi 25 ülkede 8900 MW<sub>e</sub>'a çıkmış olup, 56830 GWh/yıl enerji üretilmektedir [7]. Tablo 1, jeotermal enerjiden elektrik elde eden ülkelerdeki kurulu gücü göstermektedir. Geçen asır içinde elektrik üretimi üç aşamada gelişmiştir. Elektrik üretimi 1920'lerde İtalya'daki Larderello sahasından kuru buhar üretimiyle başlamış, 1950'lerde Y. Zelanda'daki Wairakei'den doymuş buharla geleneksel buhar çevrimlerini kullanarak devam etmiş ve en sonunda 1980'lerden itibaren orta entalpili akışkanlar için Organic Rankin çevrimiyle sürdürülmüştür. Şekil 1'de görüldüğü gibi, 1970 ve 1985 arasında güç üretiminde önemli bir artış (birkaç kat) başarılmış ve daha sonra güç üretimindeki artış hızı bugüne kadar azalmıştır. Jeotermal proje yatırımları için 1970-1985 arasında artan istek, petrol krizleri dolayısıyla yükselen petrol fiyatlarına atfedilebilir. Öte yandan, daha sonraki yıllarda jeotermal enerjinin kullanılmasındaki

artış hızının azalması, 1983-2002 periyodundaki çok düşük petrol fiyatlarıyla ilişkilendirilebilir. Son zamanlarda çok yükselen petrol fiyatları, yakında dünyadaki jeotermal enerji üretimini arttırabilir.

Tablo 1. Dünyada Elektrik Santral Kapasitesi [8].

Ülkeler	1995, (MW)	2000, (MW)	2005, (MW)	Artış, %
Avustralya	0.2	0.2	0.2	-
Avusturya	0	0	1	Yeni giriş
Çin	29	29	28	-
Kosta Rika	55	143	163	14%
El Salvador	105	161	151	-
Etopya	0	7	7	-
Fransa	4	4	15	275%
Almanya	0	0	0.2	Yeni giriş
Guatemala	0	33	33	-
İzlanda	50	170	202	19%
Endonezya	310	590	797	35%
İtalya	632	785	790	1%
Japonya	414	547	535	-
Kenya	45	45	127	182%
Meksika	753	755	953	16%
Y. Zelanda	286	437	435	-
Nikaragua	35	70	77	10%
Papua Yeni Gine	0	0	6	Yeni giriş
Filipinler	1227	1909	1931	-
Portekiz	5	16	16	-
Rusya	11	23	79	244%
Tayland	0.3	3.3	0.3	-
Türkiye	17.8	17.8	17.8	-
ABD	2817	2228	2544	3%
Toplam	6795	7972	8910	12%



Şekil 1. Dünya jeotermal elektrik üretimi (1904-2004), [7]

Tablo 2, elektrik santral dağılımını beş kategori halinde göstermektedir. Tablo 2'den görüldüğü gibi, klasik buhar çevrimleri toplam elektrik santrallerinin %92'sini oluşturmaktadır. Binary santrallerin payı yalnız %8 olup, onlar görece olarak yeni santrallerdir (1980 sonrası). Başlangıçta, binary santraller orta entalpili kaynaklar için yapılıyorlardı, çünkü bu çevrimlerin verimliliği 170°C'de maksimuma ulaşıyordu. Yakın zamanlarda kombine çevrimler (klasik buhar+binary), yüksek verimlilikleri dolayısıyla çok popüler hale geldiler.

Tablo 2. Elektrik Santral Dağılımı [8].

Kategori	Kurulu Güç Kapasitesi (MW)	Increase, %
Kuru Buhar	2545	29%
Tek Flaş	3294	37%
İki Flaş	2268	25%
Binary, Kombine Çevrim	685	8%
Back Pressure	119	1%
Toplam	8910	100%

Doğrudan kullanım için 2004 sonu itibarıyla kurulu güç tahmini, 27825 MW<sub>e</sub>'dir. Kullanılan ısı enerjisi ise 261418 TJ/yıl olup, bu da 2000 yılına göre neredeyse %40'lık bir artış göstermiştir [9]. Tablo 3 1995-2005 yılları arasında dünyadaki değişik doğrudan kullanım kategorilerini göstermektedir. Tablo 3 kategoriler temelinde incelendiğinde, jeotermal ısı pompaları için kullanılan ısı enerjisi dağılımı yaklaşık %33, banyo ve yüzme havuzu %29, mekan ısıtması %20 (%77'si merkezi ısıtma), sera ve zemin ısıtması %7.5, endüstriyel proses ısısı %4, akuakültür %4 ve diğer kullanımlar %2 olmaktadır [9]. Termal kullanım dağılımı doğrudan kullanım için kurulu gücün %56.5'u çok düşük kapasite faktörü olan ısı pompalarından gelmektedir (Tablo 3). Son on yılda jeotermal ısı pompalarının kurulu kapasite artışı 8.5 kat olmuş ve 2 kat artan diğer doğrudan kullanımları geride bırakmıştır. Dolaylı kullanımın aksine, doğrudan kullanım için kapasite faktörleri düşük veya çok düşük olarak sınıflandırılabilirler. Endüstriyel kullanım için kapasite faktörleri diğerlerine göre görece olarak yüksektir. Merkezi ısıtma sistemlerinin düşük kapasite faktörleri kaynak kullanımı açısından avantajlı kabul edilebilir, çünkü kullanılmayan periyotta kaynak kendini toparlar.

Dünyanın jeotermal potansiyeli söz konusu olduğunda, WEC (1980) enerji kaynakları üzerine yaptığı bir çalışmada [10] EPRI'nin jeotermal temel kaynak listesini kullanmış ve jeotermal kaynakların doğrudan ve dolaylı kullanım potansiyelinin tahmini için bir metodoloji önermiştir. WEC'in metodolojisi kullanılarak, dolaylı kullanım için jeotermal potansiyel  $1.14 \times 10^8$  MW<sub>e</sub> olarak bulunmuş olup, bu değer dünya enerji tüketiminin yaklaşık %70'dir. Öte yandan, doğrudan kullanım için üretilebilir ısı enerjisi  $2.9 \times 10^{24}$  J olarak tahmin edilmiş olup, bu değer de, sıcaklık dereceleri dikkate alınmaksızın, kabaca dünya birincil enerji tüketiminin 10,000 katı olmaktadır. Bu rakam çok anlamlı olup, doğrudan kullanım için dünya jeotermal potansiyelinin yüksek olduğuna işaret etmektedir. WEC tarafından belirlenen coğrafi jeotermal enerji potansiyel dağılımları Tablo 4'te verilmektedir. Potansiyel, bir bölgeden diğerine çok değişmektedir. Orta Amerika ve Pasifik Adaları elektrik gereksinimlerinin önemli bir kısmını karşılayabilecek potansiyele sahiptirler. Orta Amerika'da şu sıralarda bazı ülkeler elektrik üretimlerinin büyük bir kısmını jeotermal enerjiden sağlamaktadırlar.

Jeotermal Enerji Birliği (GEA) Gawel et al., (1999) [11] tarafından yapılan bir çalışmanın özetini yayınlamış ve bugünün teknolojisini kullanıldığı takdirde jeotermal kaynakların 35,448 and 72,392 MW<sub>e</sub>'lik elektrik üretimini destekleyecek bir potansiyele sahip olduğunu açıklamıştır. Bugünlerde geliştirilmekte olan ileri teknoloji kullanılarak, jeotermal kaynakların 65,576 ve 138,131 MW<sub>e</sub> arasında elektrik üretim kapasitesini destekleyebileceği düşünülmektedir [11]. Bu analiz tarafından ortaya çıkarılan jeotermal potansiyel, toplam dünya yıllık elektrik üretiminin yaklaşık %8.3'ü temsil etmektedir.

Tablo 3. Dünyada Değişik Doğrudan Kullanım Kategorileri Özeti, 1995-2005, [9].

	Kapasite, MW <sub>t</sub> & Kapasite Faktörü		
	2005	2000	1995
Jeotermal ısı pompaları	15723-0.17	5275-0.14	1854-0.25
Mekan ısıtma	4158-0.4	3263-0.42	25790.47
Sera ısıtma	1348-0.46	1246-0.45	1085-0.46
Akuakültür	616-0.56	605-0.61	1097-0.39
Tarımsal kurutma	157-0.41	74-0.44	67-0.53
Endüstriyel kullanım	489-0.72	474-0.68	544-0.59
Banyo ve yüzmeye	4911-0.49	3957-0.64	1085-0.46
Soğutma	338-0.18	114-0.3	115-0.31
Diğer	86-0.39	137-0.70	238-0.30
Toplam	27825-0.3	15145-0.4	8664-0.41

Tablo 4. Jeotermal Kaynakların Dağılımı [10].

Coğrafik Bölgeler	%
Kuzey Amerika	20.99
Orta Amerika	0.66
Güney Amerika	13.91
Batı Avrupa	3.90
Doğu Avrupa	17.09
Asya	20.75
Afrika	13.67
Pasifik Adaları	9.03
Toplam	100.00

#### 4. JEOTERMAL ENERJİNİN TÜRKİYE'DEKİ DURUMU

Türkiye'de jeotermal enerji araması 1960'lı yılların ilk yarısında başlamıştır. Başlangıçtaki arama çabaları, elektrik üretim potansiyeli olan yüksek entalpili sahalar üzerinde odaklanmış ve Kızıldere, Germencik gibi sahalar keşfedilmiştir. Daha sonraki arama çalışmaları Seferihisar, Simav, Salavatlı, Tuzla, Dikili, Caferbeyli gibi bazı orta entalpili sahaların keşfini sağlamıştır. Bununla birlikte, keşfedilen orta entalpili sahaların detaylı araştırıldığı söylenemez. Uygun arama yöntemleri uygulanıp, yatırım da yapılırsa, bazı sahalarda daha yüksek entalpili akışkanlar keşfedilebilir. Adı geçen sahaların bazılarında muhtemel yüksek sıcaklıkları destekleyen jeokimyasal göstergeler vardır. Yakın zamanda, Kavaklıdere adlı yüksek entalpili jeotermal saha keşfedilmiştir.

Kızıldere jeotermal sahasına 17.8 MW<sub>e</sub> kapasiteli klasik buhar çevrimli elektrik santrali kuruldu ve 1984 yılından beri yaklaşık ortalama 10 MW<sub>e</sub> güçle elektrik üretmektedir. Gross kapasitesi 8.5 MW<sub>e</sub> olan, hava soğutmalı binary çevrimli bir jeotermal santral Salavatlı jeotermal sahasına monte edilmektedir ve yıl sonundan itibaren elektrik üretimine başlayacaktır. Germencik-Ömerbeyli jeotermal sahasına 25 MW<sub>e</sub> kapasiteli binary santral kurulması kararı verilmiş olup, bugünlerde rezervuar değerlendirme çalışmaları gerçekleştirilmektedir ve 10-kuyuluk bir sondaj programı üzerinde çalışılmaktadır.

Türkiye'de jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı daha çok merkezi ısıtma sistemleri vasıtasıyla gerçekleşmiştir. İlk merkezi ısıtma sistemi 1987'de kurulmuş ve 1991-2004 yılları arasında 11 merkezi ısıtma sistem daha, ilkinin takip etmiştir. Tablo 5'ten de görüldüğü gibi, merkezi ısıtma sistemlerinin toplam kapasitesi 250 MW<sub>t</sub>'a erişmiştir. Bu merkezi ısıtma sistemlerinin kabaca 35,000 konutu ısıttığı tahmin edilmektedir.

Tablo 5. Türkiye'nin Merkezi Isıtma Sistemleri, [12].

Yer	Tarih	Kurulu Güç, (MW <sub>t</sub> )
Gönen-Balıkesir	1987	10.6
Simav-Kütahya	1991	26.2
Kırşehir	1994	5.6
Kızılcahamam-Ankara	1995	17.6
Balçova-İzmir	1996	71.3
Afyon	1996	33.9
Kozaklı-Nevşehir	1996	16.7
Sandıklı-Afyon	1998	29.3
Diyadin-Ağrı	1998	10.9
Salihli-Manisa	2002	17.0
Sarayköy-Denizli	2002	8
Edremit-Balıkesir	2004	6
Toplam		253

Türkiye'deki jeotermal enerjinin diğer bir doğrudan kullanım alanı seracılıktır. Tablo 6 önemli sera ısıtmacılığı yerlerini ve bu alanları ısıtmak için sağlandığı tahmin edilen güçleri göstermektedir. Jeotermal enerji ile sera ısıtmacılığı son zamanlarda popüler hale gelmiştir. Bundan ötürü, 809 dekar'lık mevcut sera alanına ilaveten 800 dekarlık yeni sera ısıtma alanı şimdilerde projelendirilmektedir ve bunlar çok yakın bir zamanda kurulacaklardır. Tablo 6'dan da görüldüğü gibi, büyük sera tesisleri 142 MW<sub>t</sub>'lık güç kullanmaktadır ve küçük tesisler de dikkate alınırsa, bu miktar 150 MW<sub>t</sub>'a erişecektir. Öte yandan, Türkiye'nin karbon dioksit içeren jeotermal kaynakları seralarda bitkilerin gelişimi için kullanılan gerekli CO<sub>2</sub>'i kolaylıkla sağlayabilirler. Jeotermal enerjinin diğer bir doğrudan kullanım alanı gıda kurutmadır. Bu konuda, Urganlı jeotermal alanında TÜBİTAK tarafından desteklenen bir pilot uygulama bulunmaktadır.

Tablo 6. Türkiye'deki Büyük Sera Alanları [12].

Yer	Sera Alanı, (dekar)	Tahmini Güç, (MW <sub>t</sub> )
Dikili	240	42
Urganlı	20	3.5
Simav	180	31.5
Gümüşlük-Kuşadası	80	14
Edremit	50	9
Tuzla	50	9
Gediz	9	1.5
Afyon	20	3.5
Alaşehir	20	3.5
Urfa	60	10.5
Balçova	80	14
Toplam	809	142

Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı, balneoloji ve turistik veya tedavi amaçlı havuzlarda harcananlardır. Türkiye'de birçok kaplıca işletmesi bulunmaktadır. Onların kullandıkları gücü kontrol etmek, sayısallandırmak veya kayıt altında tutmak oldukça zordur. Bundan ötürü, bilinen büyük kaplıcaların ısıtma güç gereksinimleri diğer küçüklerle birlikte mevcut veriler kullanılarak hesaplanmış ve birçok küçük kaplıcanınkiler ise, bilinenler temel alınarak tahmin edilmiştir. Sonuç olarak, balneoloji ve yüzme için toplam 110 MW<sub>t</sub>'lık bir güç gereksinimi tahmini yapılmıştır.

Türkiye'de jeotermal kaynakların tüm büyük doğrudan kullanımınının toplanması durumunda, ortaya 500 MW<sub>t</sub>'lık bir güç çıkmaktadır.

Türkiye'nin jeotermal potansiyeli üzerine ilk bilgiler Roberts (1978) tarafından verilmiştir. Roberts Türkiye'nin Jeotermal Temel Kaynak Potansiyelini  $3.1 \times 10^{23}$  J olarak tahmin etmiştir. Türkiye'nin Jeotermal Temel Kaynak Potansiyeli hakkında ikinci bilgiler bu çalışmanın yazarı [13] tarafından sağlanmış ve potansiyel  $2.8 \times 10^{23}$  J olarak tahmin edilmiştir. Türkiye için hesaplanan her iki potansiyel değeri detaylı bir şekilde Tablo 7'de gösterilmektedir. Heriki tahminde bilimsel çalışmalar kullanılarak elde edilmiştir.

Tablo 7. Türkiye'nin Jeotermal Kaynak Temeli [13].

	Sıcaklık Aralıklarında 3 km derindeki Kaynak Temeli, J				
	< 100°C 1. Sınıf	100-150 2. Sınıf	150-250 3. Sınıf	> 250°C 4. Sınıf	Toplam
Roberts	19.0E22	8.4E22	2.3E22	1.4E22	3.10E23
Serpen	16.0E22	9.25E22	3.21E22	-	2.85E23

Tablo 7'de görüldüğü gibi, 250°C üzerindeki sınıf dışında her iki tahmin birbirine yakındır. Sıcaklığı 250°C üzerinde hiçbir kaynak keşfedilmediği için, yazarın tahmini gerçek durumu daha sağlıklı yansıtmaktadır. Yazarın Türkiye için gerçekleştirdiği tahmin [13] dikkate alınıp, Roberts'in yaptığı tahminle karşılaştırılırsa, Türkiye'nin jeotermal temel kaynağı dünyanınkinin %0.7'si olarak bulunur.

Türkiye'nin jeotermal temel kaynak potansiyeli üzerinde Serpen ve Mihçakan [14] tarafından daha detaylı bir stokastik model çalışması, daha sonra gerçekleştirilmiştir. Jeotermometreler ve sıcaklık gradyanları üzerine bina edilen ısı akısı haritaları, Türkiye'nin altında depolanan ısı enerjisini tahmin etmek için kullanılmıştır. Bu haritalardan hesaplanan depolanmış ısı değerleri kullanılarak, jeotermal kaynaklar 3 grupta toplanmışlardır: (1)  $T < 100^\circ\text{C}$ , (2)  $100^\circ\text{C} > T > 180^\circ\text{C}$  ve (3)  $T > 180^\circ\text{C}$ . Elde edilen veriler üzerinde Monte Karlo simülasyonu uygulanmış ve beklenen jeotermal enerji temel kaynağı ile dönüşebilir enerji tahminleri, her bir grup için hesaplanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları Tablo 8'de görülmektedir.

Öte yandan, yakınlarda İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl.'de, jeotermal gradyan dağılımıyla birlikte kayaçların ısı iletkenlikleri kullanılarak, yüzeyden ısı deşarj ile ısı akısı üzerine bir çalışma [15] gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, Türkiye yüzeyinden  $84.2 \text{ GW}_t$ 'lık ısı enerjisi dışa atımı olduğu ve  $109 \text{ mW}_t/\text{m}^2$  'lik ısı akısı meydana geldiği belirlenmiştir. Türkiye'nin ısı akısı ve enerji dışa atımı değerleri diğer çalışmalarla uyumludur [14, 16]. Dünyanın ısı dışa atımının  $40 \times 10^6 \text{ MW}_t$  olduğu bilindiğine göre, Türkiye yüzeyinden dışa atılan ısı, dünyanınkinin sadece %0.2'si kadardır.

Eğer Tablo 8 dikkatle incelenirse, en büyük potansiyelin 2. Sınıf jeotermal kaynaklarda bulunduğu, görülebilir. Bu sınıfın sıcaklık aralığı, jeotermal enerji doğrudan kullanımının endüstriyel olanlarını kapsamaktadır. Bununla birlikte, bu kaynakların üst sınırına yakın olanlar, binary çevrimler kullanılarak elektrik üretimi için de kullanılabilirler. Öte yandan, ülkemizde düşük entalpili akışkanlara sahip, mekan ve sera ısıtmacılığı, yiyecek kurutma, akuakültür, vb. alanlarda kullanılacak, bol miktarda kaynak bulunmaktadır.

Tablo 8. Türkiye'nin Dönüşebilir Jeotermal Enerji Kategorileri [16].

Sıcaklık Aralığı (°C)	Dönüşebilir Enerji, (J)
1. Sınıf, (<100°C), doğrudan kullanım	4.9 E21
2. Sınıf, (100-180°C), doğrudan kullanım	8.0 E21
Class 3, (180-250°C), dolaylı kullanım	1.3 E18

Serpen vd., (2000) [18], ülkemizin en büyük jeotermal bölgesi olarak tanınan Büyük Menderes havzasının jeotermal potansiyelini hesaplamak amacıyla, yeni bir metodoloji önerdiler. Stokastik and risk analizi yöntemleri kullanılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir [18]:

- Büyük Menderes havzası için beklenen ulaşılabilir jeotermal enerji  $5.22 \cdot 10^{19}$  J olarak, bilinen 18 saha ve oluşumlardan tahmin edilmiştir.
- Havza için gerçekleştirilen simülasyon çalışmaları, eğer sadece yapıların yarısı üretici ise, tahmin edilen ulaşılabilir ısının  $4.75 \cdot 10^{19}$  J olduğunu açığa çıkarmıştır.
- Elektrik üretimi için beklenen mevcut enerji,  $2.12 \cdot 10^{18}$  J'dur. Varolan teknoloji ile bu miktar yalnız  $3.19 \cdot 10^{17}$  J'dur.
- Doğrudan kullanım için beklenen dönüştürülebilir enerji  $3.5 \cdot 10^{18}$  J iken, elektrik üretimi için  $3.15 \cdot 10^{16}$  J'dur.

## 5. JEOTERMAL ENERJİ KULLANIMINDA EĞİMLER

Jeotermal endüstride potansiyel önem atfedilen beş eğilim belirlenmiştir[13]:

- Para ve zaman tasarrufu için özelleştirme.
- Eğer pazar gelişir ve sürdürülebilirse, düşük miktarda CO<sub>2</sub> içeren jeotermal kaynaklardan karbon kredilerinin satışı.
- Konduktif jeotermal sistemlerden (enhanced geothermal systems) destekli jeotermal enerji üretiminin geliştirilmesi.
- Düşük sıcaklıklı akışkanların kullanımı.
- Isı pompalarının kullanımı.

Dünyadaki eğilimlerin aksine, ısı pompalarının kullanımı ve kuru sıcak kayaların (konduktif jeotermal sistemler) geliştirilmesi Türkiye'de popüler olmamıştır. Ülkemizde daha keşfedilmiş tek bir konduktif jeotermal sistem yoktur ve ısı pompası kullanımı yüksek yatırım maliyeti dolayısıyla oldukça sınırlıdır.

## 6. JEOTERMAL KULLANIMIN EKONOMİSİ

Elektrik üretiminin ekonomisini çalıştıktan sonra, Sanyal, (2005) [19] elektrik maliyetini etkileyen faktörleri aşağıdaki gibi belirlemiştir: (a) ekonomik ölçek, (b) kuyu üretim karakteristikleri, (c) geliştirme ve işletme seçenekleri ve (d) makro-ekonomik iklim. Jeotermal elektrik enerji maliyetine bu faktörlerin etkisi üzerine bir duyarlılık analizi uyguladıktan sonra, aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır:

- (1) Eğer elektrik üretim seviyesi ek sondajlar yapılarak korunabilirse, elektrik maliyetinde önemli düşüşler kaydedilmektedir.
- (2) Elektrik üretim maliyetini düşürmek için, kaynak idaresi ve santral işletmesinde yere özgü deneyim kazanımı gibi, önemli fırsatlar vardır.
- (3) Elektrik üretim maliyeti, en çok birim işletme-bakım maliyetlerine ve daha sonra sırasıyla birim sermaye maliyetine, faiz oranına ve enflasyon oranına duyarlıdır.

Yakın zamanda Serpen (2005) tarafından Türkiye'de jeotermal kaynak ekonomisi üzerine stokastik bir çalışma [20] gerçekleştirilmiştir. Elektrik satış fiyatlarının  $4.5-5$  cent/kWh civarında olması durumunda, ülkemizde jeotermal enerjiden elektrik üretimi karlı görünmektedir. Bu tür yatırımların geri ödemesi 7-8 yılda gerçekleşmektedir. Karlılık ısı kalitesi (entalpi) ve kaynağın fiziksel büyüklüğü ile artmaktadır.

Öte yandan, benzeri stokastik bir ekonomik çalışma, birçoğu halen kurulu olan merkezi ısıtma sistemleri için gerçekleştirilmiştir. Merkezi ısıtma sistemlerinin ekonomisi varolan çok düşük ve sabit ısıtma tarifeleriyle karlı görünmemektedir. Birçok jeotermal kaynak için merkezi ısıtma sistemi çalışılmış, ancak bir tanesi çok az da olsa karlı bir yatırım olarak bulunmuştur. "Balçova'nın Geliştirilmesinin Kavramsal Planlanması" [21] gibi diğer çalışmalar, Seferihisar-Cumalı jeotermal kaynakları için gerçekleştirilen ekonomik analiz [22], mevcut tarifelerle negatif net şimdiki değer ve iç karlılık oranı ile sonuçlanmıştır.



Diğer taraftan, sera ısıtmacılığı, diğer tipdoğrudan kullanım, oldukça karlı görünmektedir. Yüz dekarlık bir sera alanını inşa etmek yaklaşık 5 milyon \$'a malomakta ve iki yıl içinde geri ödemektedir. Yaklaşık aynı miktarda enerji tüketen bir jeotermal santralin maliyeti 12 milyon \$'ı bulmakta ve geri ödemesi 8 yılda olmaktadır. Seracılığa yatırım yapmak, elektrik üretmekten daha karlı görünmektedir.

Türkiye'de kaplıca işletmeciliği gelişen bir iş koludur ve kaplıcalarımız 4 milyon yerli müşteri tarafından ziyaret edilmektedir. Fakat, kaplıcalarımızın genel durumu hiç te iç açıcı değildir. Türkiye, her biri ayrı bir müşteri grubuna hizmet veren birçok kaplıcaya sahiptir. Eğer bu kaplıcalar yeniden düzenlenip uygun sağlık hizmetlerini sağlayabilirlerse, Türkiye bunlara, bu tür tesislerin ve kaynakların bulunmadığı veya bulunup ta fiyatların çok yüksek olduğu ülkelerden çok sayıda yabancı turist ve hasta çekebilir.

## 7. TÜRKİYE JEOTERMAL ENERJİ YASASI

Zengin jeotermal kaynaklara, birçok kullanım fırsatına ve bilgi birikimine sahip olan Türkiye'nin, kendi jeotermal potansiyelini harekete geçirecek çağdaş bir jeotermal enerji yasasına sahip olamaması bir talihsizliktir. Anayasaya göre, tüm doğal kaynaklar kamuya ait olup, devlet bu kaynakların işletmesi için izin ve ruhsat verir. Türkiye'nin jeotermal kaynakları 1920'li yıllardan beri jeotermalle ilgili yetersiz bir yasayla idare edilmektedir. Bu yasa kaplıca ve tesisatlarını yönetmeye yönelik olarak hazırlanmış idi. Bilindiği üzere, o zamandan beri birçok teknolojik gelişme olmuş ve jeotermal kaynaklardan çeşitli şekillerde enerji elde edilmeye başlanmış, fakat yasada herhangi bir değişiklik yapılamamıştır. 1980'li yılların başında jeotermal kaynakların idaresi kısa bir müddet için Maden İşleri Genel Md.'e verilmiş, ancak kaynakların idaresinde oluşan sorunlar nedeniyle, yasa iptal edilmiştir. Şimdi aynı hataya bir jeotermal yasa tasarısında düşülmektedir.

Görüldüğü gibi, zengin jeotermal rezervlerimizi idare edebilmek için uygun bir jeotermal yasamız bulunmuyor ve bu nedenle jeotermal enerji için yatırım yapan yatırımcılar önlerini açıkça göremiyorlar. Şimdiyedek, yalnız kamu iktisadi kurumları (EÜAŞ), belediyeler ve il özel idareleri jeotermal projelere yatırım yapmışlardır. Ancak, artık IMF tarafından zorlanması nedeniyle, devletin politika olarak yatırım yapmak istememesi ve bu tür yatırımlara harcayacak kaynaklarının bulunmaması dolayısıyla, jeotermal kaynaklara yatırım yapmak sadece özel sektöre kalıyor.

Türkiye'de jeotermal kaynakların gelişimini etkileyen birçok sorun vardır ve bunlar 3 grupta toplanabilir: (1) teknik, (2) ekonomik ve (3) yasal sorunlar. Tüm bu hususlar detaylı bir şekilde incelenmiş, açıklanmış ve çözüm önerileri Toksoy and Serpen [23] tarafından sunulmuştur. İki önceki İzmir Valisi, yasal boşluğun tehlikelerini sezdiği ve gözlemediği için (delinen yasal olmayan kuyular vb.), İzmir İli'ndeki jeotermal kaynakların idare edilip, korunması ve boşluğun doldurulması amacıyla, bir yönetmelik talebinde bulunmuştu [24]. İzmir İli jeotermal kaynakları için yönetmelik, bu çalışmanın yazarı ve Jeotermal Yüksek Danışma Kurulu işbirliği ile İzmir MMO sponsorluğunda "İntegre Kaynak İdaresi Filozofisi" kullanılarak, hazırlanmış, ancak valinin değişimi bu gelişmeyi engellemiştir. Biri Enerji Bakanlığı ve diğeri İç İşleri Bakanlığı esas olmak üzere birçok jeotermal enerji yasa tasarısı piyasada dolaşmaktadır. Mecliste muhalefetin hazırladığı ve Enerji Bakanlığı tasarısına çok benzeyen bir taslak daha bulunmaktadır. Bu çalışmanın yazarı, dünya ölçeğinde kazandığı deneyimi kullanarak ve önemli jeotermal enerji üreticisi ülkelerin yasalarını dikkate alarak, çağdaş bir jeotermal enerji yasa tasarısı hazırlamış [25] ve geçmişte Enerji Bakanlığına da sunmuştur. Hazırlanan bu taslak "İntegre Kaynak İdaresi Filozofisi" üzerine bina edilmiştir. Öte yandan, bu çalışmanın yazarı bir başka taslağın hazırlanmasında yardımcı olmuş [26] ve ayrıca, Enerji Bakanlığının hazırladığı tasarı hakkında yapılan toplantılarda tartışmalara katılarak katkıda bulunmuştur.

İntegre Kaynak İdaresi Filozofisi aşağıdaki kavramları içermektedir:

- i. Jeotermal sahaların kontrollü gelişiminin sağlanarak, jeotermal kaynakların korunması.
- ii. Jeotermal kaynaklar için sürdürülebilir idareyi sağlamak.
- iii. İş çevrelerinin güvenliğini sağlayarak, yatırımcıları cezbetmek:

- Başarılı çalışmaların teknik ve idari elemanlarını açıklamak,
- Kısıtlamaları mümkün olan en az ve basit düzeyde tutmak,
- Riskli aktiviteleri teşvik etmek.
- iv. Operasyonları yakından izleyip, gözleyerek çevreyi korumak.
- v. Doğal jeotermal güzellikleri korumak.

Yukarıdaki kavramları uygulamaya sokarak, jeotermal kaynaklar uygun ve çağdaş bir şekilde işletilebilir.

## 8. SONUÇLARIN TARTIŞILMASI

Yukarıda bahsedilenlerden anlaşılacağı gibi, dünyada ve özellikle Türkiye’de önemli rezervler var görünüyor. Gawel vd., (1999)’nin de işaret ettiği gibi, varolan teknolojiyi kullanarak konduktif sistemlerden destekli jeotermal enerji üretimi yapılırsa, elektrik güç gereksinimlerin %8’i karşılanabilir. Diğer araştırmacıların varolan tahminlerine [4, 10] göre daha fazla elektrik gücü elde edilebilir. Öte yandan, düşük-orta entalpili kaynaklar çok fazla olup [4], enerji üretimindeki rolleri uzun süreli olacaktır. Reistad [27], kullanım sıcaklığına bağlı olarak enerji kullanımını tartıştıktan sonra, dünya yıllık fosil yakıt tüketiminin yaklaşık %40’nın termodinamik açıdan aşırı bozulduğu sonucuna varmıştır. Tipik olarak, 1000-1500°C’lık fosil yanma sıcaklıkları, 250°C altındaki mekan ısıtma ve/veya proses ısısı olarak kullanılmaktadır. Fosil yakıtların yakılmasıyla, önemli miktarda enerjinin bacalarda kaybedildiği unutulmamalıdır. Düşük-orta entalpili jeotermal kaynaklar, ideal olarak bu tür doğrudan kullanımların yerini alabilirler.

Diğer önemli bir husus ta ekonomidir. Bazı devirlerdeki düşük petrol fiyatları (1950-1970 and 1983-2003) jeotermal kaynakların gelişimini engellemiştir. Şimdilerde petrol fiyatları artan bir eğilim içinde olduğuna göre, jeotermal enerji gelişimi için bir şans bulunmaktadır. Gelecekte petrol fiyatlarının nasıl değişeceğine bağlı olarak, destekli jeotermal enerji üretimi yapılan kaynaklar devreye girecek ve enerji gereksinimlerimize katkıda bulunacaklardır. Öte yandan, hiç kimse enerji kullanımının sosyal maliyetini tartışmamaktadır. Fosil yakıt kullanımı dolayısıyla gelecekte oluşacak tıbbi harcamalar vb. sosyal maliyetler [13], çok önemlidir. Bunun yanında, CO<sub>2</sub> emisyonları nedeniyle oluşan sera etkisi gibi çevre sorunları, hayatımızı etkileyeceği için dikkate alınmalıdır.

Yakın zamandaki enerji konusunda Türkiye kendi özel sorunları ile mücadele edecektir. Bu problemlerden ilki, kendi ekonomisinin dinamikleridir. Yakın zamanlarda, doğal gaz boru hatları neredeyse ülkemizdeki tüm büyük şehirlere ulaşmış durumdadır. Serbestleştirilmiş gaz pazarı, endüstri ve ısıtma için çok rekabetçi gaz fiyatlarının oluşmasına neden olmuştur. Konutlara gaz bağlamak 180\$ gibi çok ucuz bir fiyata yapılmaktadır. Çok sıkı rekabet dolayısıyla, depozito bedelleri de düşmeye başlamıştır (149\$). Botaş’tan dağıtım şebekesini devralan Bursa Gaz’ın yeni sahipleri, yakın zamanda agresif bir kampanya uygulayarak, mevcut abone sayılarına 84,000 yeni abone eklemiştir. Bu koşullar altında jeotermal enerjinin doğal gazla rekabet şansı kalmamış görünüyor. Şimdiye dek yapılan jeotermal merkezi ısıtma sistem projeleri, her bir aboneden yaklaşık 2,000\$ toplanarak gerçekleştirilmiştir. Jeotermal merkezi ısıtma sistemleri bu toplanan para ve bir miktar yerel yönetim desteği kullanılarak kurulmuştur. Halk artık bu modeli kullanmaz, çünkü bu devirde bu meblağ onlar için yıkım anlamına gelebilir ve bu nedenle jeotermal yerine gaz şebekesine çok düşük bir bedelle abone olabilir. Ülkemizde hiç bir merkezi ısıtma sistemi finansal olarak anlamlı bir proje üzerine kurulmamıştır. Gerçi ısıtma tarifeleri, potansiyel aboneleri çekebilme için çok düşük tutulmaktadır, fakat bu tarifelerle gerçekleştirilmiş projeler hiç bir zaman geri ödememiştir. Bundan ötürü, yerel yönetim desteği olan bedeller hiç bir zaman geri alınamamış olup, aboneler paralarını kaybetmektedirler.

Öte yandan, uygun bir şekilde projelendirip kurulmayan merkezi ısıtma sistemlerini ilgilendiren başka sorunlar da vardır. Bazı merkezi sistemlerin dağıtım şebekelerinde çok ciddi su kayıpları vardır [23]. Bunlardan bazıları öyle yanlış tasarlanmışlardır ki, işletme maliyetleri pahalıdır ve hiç birinde bir

hidrolik proje yapılmamıştır. En önemli husus da, jeotermal kaynağın tamamen ihmal edilmesidir ve bundan ötürü, bazı kaynaklar aşırı abone sayısı ile şişirilmiş merkezi ısıtma sistemlerine yeterli ısıyı sağlayamamaktadır. Yakın zamanda en kötüsü olmuş ve bir Belediye Başkan'ı sisteme bir kömür kazanı bağlayarak jeotermal suyu ısıtıp, abonelere ancak ısınabilecekleri bir ısı sağlamıştır. Böyle bir çözüm, ulusal jeotermal çevreler için üzüntü verici bir durumdur.

Bu sektörde en önemli sorun, bazı yerel hükümet ilgililerinin jeotermal enerji kullanan merkezi ısıtma sistemlerini yeniden değerlendirmeye başlamalarıdır. Bu yerel görevliler mevcut jeotermal merkezi ısıtma sistemlerini sökerek, konutları ısıtma için doğal gaz sistemlerine bağlanmayı ciddi bir şekilde düşünmeye başlamalarıdır. Öte yandan, yerel görevliler jeotermal kaynakları son sıralarda çok popüler olan sağlık turizmi için tahsisi düşünmeye başlamışlardır.

Daha önce bahsedildiği gibi, ülkemizin jeotermal kaynaklarının önemli bir kısmı proses ısısı için çok daha uygun olmalıdır. Fakat, bu durum bizim ulusal endüstrimiz tarafından ihmal edilmektedir. Kırk yıl önce bir tekstil fabrikasının Kızıldere jeotermal sahasından doğal olarak deşarj olan suyu kullandığı hatırlanmaktadır. Bu amaçla fabrika sahipleri 8 km uzunluğunda boru hattı döşemişlerdi. Taşıdıkları ısıya ilaveten, jeotermal sular kumaş yıkamada çok faydalı olan silika içermektedir. Ege Bölgesi tekstil endüstrisi bundan faydalanmalıdır.

Ülkemizde doğrudan kullanımda sera ısıtmacılığı hızla gelişmektedir. Bildiride belirtilen 800 dekar'ın çok üstündeki projeler gündemdedir. Eğer paketleme endüstrisi de gelişime ayak uydurabilirse, seralarda üretilen gıdalar önemli ölçüde artacaktır. Böyle bir gelişme ülkemizden yapılan gıda ihracatını artıracaktır. Büyük sera işletmecileri ürettiklerini zaten ihraç etmektedirler.

Elektrik üretimi konusunda, durum daha iyi görünüyor. Jeotermal elektrik santral yatırımlarının, nakit akışları başlamadan önce uzun yatırım süreçleri sahip olmaları ve geri ödeme zamanlarının uzun olmalarına rağmen, jeotermal projeler hala karlı görünüyor. Fakat, yatırımcılar yasal boşluk nedeniyle tedirginler ve bürokrasi ile mücadele ederek vakit kaybetmek istemiyorlar.

Bildirinin daha önceki bölümlerinde bahsedildiği gibi, yasal boşluk kaos yaratıyor ve jeotermal endüstri içinde ve resmi kurumlar arasında da çıkar çatışmaları yaratıyor ve gelecekte de yaratmaya devam edebilecek. Her ne kadar birçok taslak varsa da, yalnız iki tanesi hükümetin görüşüne sunulacak gibi görünüyor. Her şeyden önce söylenmesi gereken, her iki taslağın da çağdaş olmayıp, ülkemizde jeotermal sorunların çözümüne yardımcı olmaktan uzak olmasıdır. Aslında, her iki taslak da Türkiye'nin maden yasasından kopya edilmişlerdir. Madencilik ve jeotermal enerji birbirinden uzak kavramlardır. Birincisi bir madde iken, öbürü bir enerji şeklini ifade etmektedir. Maden yatakları statik varlıklar iken, jeotermal sistemler dinamik varlıklardır ve su jeotermal sistemlerde enerjiyi taşıdığı için dinamizmi sağlayan maddedir. Bundan ötürü, söz konusu taslakların kavramları yanlış konulmuşlardır. Enerji Bakanlığının taslağı, hiçbir bilimsel ve teknolojik temeli olmaksızın yatırımcılar üzerine yersiz ve ağır kontroller koyar ve sahaların bütünlüğünü tehdit ederken, hiçbir teşvik öngörmüyor. Bu bağlamda, taslağın öngördüğü jeotermal sahaların bölünmesi çok tehlikeli bir yaklaşım olup, sonuçta kaynakların elden çıkıp, bozulmalarına neden olabilir. Öte yandan, aynı taslak mevcut vergilere ek vergiler getiriyor. İç İşleri Bakanlığının hazırladığı diğer taslak, şimdiki hükümetin yaklaşımı olan yerel yönetimlere yetki devri ile son derece uyumlu ve tutarlı. Bu taslak yerel yönetimlere jeotermal kaynakların yönetimi ile ilgili tüm yetkiyi veriyor. Yerel yönetimler, maalesef, jeotermal enerji için karmaşık bir mücadeleyi gerektiren bir görevi yerine getirmeyi sağlayacak yeterli altyapıya sahip değiller. Öte yandan, her iki taslak ta riskli yatırımlar için teşvik öngörmüyor.

## 9. SONUÇLAR

Yukarıda bahsedilenlerin ışığı altında, bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Dünyadaki jeotermal kaynaklar yakın gelecekte dünya elektrik enerjisi gereksiniminin %8'ini temin edebilir.
- Artan petrol fiyatları, yakın gelecekte destekli jeotermal sistemlerden enerji üretiminin ekonomisini geliştirecek ve jeotermal sistemlerden elektrik üretimini ikiye katlayabilecektir.
- Dünyada ve Türkiye'de düşük dereceli jeotermal kaynakların kullanımı, yerel olarak doğrudan kullanımda fosil yakıtların yerini alacaktır.
- Fosil yakıtların yerine jeotermal kaynakların kullanımı, CO<sub>2</sub> seviyelerini kontrol ederek sosyal maliyetleri düşürecektir.
- Türkiye'de elektrik üretiminin ekonomisi olumlu görünüyor ve yeni projeler sırada.
- Türkiye'de merkezi ısıtma sistemlerinin ekonomisi, mevcut finans modeli ve ısınma tarifeleriyle iyi durumda görünmüyor ve bu ekonomik durumla, kısa ve orta vadede doğal gazla rekabet etmesi mümkün görünmüyor.
- Türkiye'nin jeotermal kaynaklarından proses ısısı elde edilmesi uygun görünüyor. Bu durum vurgulanmalı ve endüstri tarafından dikkate alınmalıdır.
- Türkiye'nin jeotermal kaynaklarının sera ısıtmacılığında kullanımı ekonomik olarak anlamlı görünüyor ve endüstri bunu zaten algılamış durumdadır.
- Türkiye'nin zengin jeotermal kaynakları dikkate alındığında, ülkemiz çağdaş bir jeotermal yasa sahibi olmayı hakediyor. Fakat, hükümetin önerdiği yasa tasarıları yetersiz ve Türkiye'nin şimdiki gereksinimlerini karşılamaktan uzaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] WEC (World Energy Council), *Energy for Tomorrow's World-Realities, the Real Options and Agenda for Achievement*. St. Martin press, USA, (1993).
- [2] Nakicenovic, N.A., Grübler, A., and McDonald, A., *Global Energy Perspectives*, Cambridge University Press, UK, (1998).
- [3] Friedlifsson, I.B., 2001. Energy requirements for the Next Millenium. *Geothermal Bulletin*, Vol. 30, No.4, pp. 139-144, (2001).
- [4] Othmer, K., Geothermal Energy, *Encyclopedia of Chemical Technology*, Vol. 11, 3rd Ed., (1980).
- [5] Pritchett, J.W., Modelling Post-Abandonment Electrical Capacity Recovery for a Two-Phase Geothermal Reservoir, *GRC Transactions* Vol. 22, pp. 521-528, (1998).
- [6] Rybach, L., Megel, T., Eugster, W.J., How Renewable Are Geothermal Resources, *GRC Transactions* Vol. 23, Oct. 17-20, 1999, pp. 563-566.
- [7] Lund, J.W., 100 Years of Geothermal Power Product. *Proceedings, 30<sup>th</sup> Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, USA Jan. 31<sup>st</sup>-Feb.2<sup>nd</sup> 2005*.
- [8] Bertani, R., World Geothermal Generation 2001-2005: State of Art, *Proceedings World Geothermal Congress 2005* Antalya, Turkey, 24-29 Apr. 2005.
- [9] Lund, J.W., Freeston, D.H., Boyd, T.L., World-Wide Direct Uses of Geothermal Energy 2005. *Proceedings World Geothermal Congress 2005* Antalya, Turkey, 24-29 Apr. 2005.
- [10] WEC (World Energy Council), World Energy Resources: 1985-2020, *World Energy Conference, London*, (1980).
- [11] Gawel, K., Reed, M., Wright, M., Geothermal Energy, the Potential for Clean Power from the Earth, *Preliminary Report by GEA*, (1999).
- [12] Aksoy, N., Kişisel İletişim, 2005.
- [13] Serpen, U., *Geothermal Energy*, published by Chamber of Petroleum Engineers, Ankara, (2000).
- [14] Serpen, U., and Mihçakan, M., Heat Flow and related Geothermal Potential of Turkey, *GRC Transactions* Vol. 23, San Diego, Cal. USA, 1999.
- [15] Ahlatçı, B., 2005. Estimation of Surface Thermal Energy Discharge and Heat Flux for Areal and Stratigraphic Distribution of Lithology in Turkey, Graduation Thesis, Dept. Of Petroleum and Natural Gas Engineering of Istanbul Technical University, İstanbul.
- [16] İlkışık, O.M., Silica Heat Flow Estimates and Lithospheric Temperatures in Anatolia, *Proceedings 11<sup>th</sup> Congress of World Hydrothermal Organization*, held in İstanbul and Pamukkale, 13-18 May 1992.

- [17] Serpen, U., Yamanlar, Ş., Karamanderesi, İ.H., 2000. Estimation of Geothermal Potential of B. Menderes in Turkey, *Proceedings of WGC 2000*. Kyushu-Tohoku, Japan, 2000.
- [18] Koenig, J., Trends in the Development and Utilization of Geothermal Energy for Electricity, *Proceedings World Geothermal Congress 2005* Antalya, Turkey, 24-29 Apr.2005.
- [19] Sanyal, S., Cost of Geothermal Power and Factors that Affect it, *Proceedings World Geothermal Congress 2005* Antalya, Turkey, 24-29 Apr. 2005.
- [20] Serpen, U., Unpublished study on the Economics of Exploitation of Geothermal Resources, İstanbul, 2005.
- [21] Toksoy, M., Gülşen, E., Serpen, U., Conceptual Planning for the Extension of Balçova District Heating System, *Proceedings World Geothermal Congress 2005* Antalya, Turkey, 24-29 Apr. 2005.
- [22] Öztürk, M., Economical Analysis of Seferihisar District Heating System, Graduation Thesis, Dept. Of Petroleum and Natural Gas Engineering of İstanbul Technical University, İstanbul, 2005.
- [23] Toksoy, M., Serpen, U., Institutional, Technical and Economic Problems in Direct Use Geothermal Applications in Turkey, *GRC Transactions* Vol. 25, Aug. 29-31, 2001, San Diego, pp. 71-75.
- [24] Serpen, U., Toksoy, M., Regional Geothermal Management Policy in Turkey-A Regulatory Draft”, *GRC Transactions* Vol. 25, Aug. 29-31, 2001, San Diego, pp. 267-271.
- [25] www.pmo.org.tr., Draft Code for Geothermal Energy, by Serpen, U., Oct. 22<sup>nd</sup>, 2002.
- [26] Öngür, T., Serpen, U., Draft Code for Geothermal Energy, unpublished draft.
- [27] Reistad, G.M., Potential for Nonelectrical Applications of Geothermal Energy and Their Place in National Economy, in “Tectonic and Hydrologic Control of Nature and Distribution of Geothermal Resources” by Muffler, L.J.P., Proceedings of 2nd UN Symp. On development and Use of Geothermal Resources, Vol.1, (1975).

## ÖZGEÇMİŞ

Umran SERPEN

1945 yılı İzmir doğumludur. 1967 yılında İTÜ Petrol Müh. Böl.'den mezun olduktan sonra 1974 yılına kadar TPAO ve MTA'da petrol ve jeotermal sahalarda çalışmıştır. 1974 yılından 1987 yılına kadar ELECTROCONSULT adlı bir İtalyan mühendislik ve danışmanlık şirketinde El Salvador, Guatemala, Meksika, Nikaragua, Kosta Rika, Arjantin, Şili, Etiyopya, Kenya, Filipinler, Rusya ve İtalya gibi ülkelerin çeşitli jeotermal projelerin çeşitli aşamalarında danışmanlık yapmıştır. 1987 yılından itibaren İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl.'de Öğr. Gör. Dr. olarak çalışmaktadır.