

ÜLKEMİZ JEOTERMAL KAYNAKLARININ İKİNCİ KANUN VERİM DEĞERLERİNE BAĞLI SINIFLANDIRILMASI

*Akın B. ETEMOĞLU**

*Muhiddin CAN**

*Muhsin KILIÇ**

Özet: Dünya enerji ihtiyacındaki artış çevresel faktörlerle birleşerek araştırmaları doğal kaynakların kullanımındaki teknolojinin geliştirilmesine yönlendirmektedir. Bu olgu, bilimsel çevreleri, enerji dönüşüm araçlarını yeniden değerlendirmeye ve varolan sınırlı enerji kaynaklarından daha çok yararlanabilmek için yeni yöntemler geliştirmeye zorlamaktadır. Ülkemiz enerji potansiyeli içerisinde jeotermal kaynakların yeri ve önemi oldukça büyüktür. Bu çalışmada; sistem potansiyelinin belirlenmesinde sağlam bir temel oluşturan özgül ekserji verimi (ÖEV) değerleri esas alınarak ülkemiz jeotermal kaynaklarının sınıflandırılması yapılmıştır. Özgül elektrik gücü (ÖEG) ve özgül akışkan miktarları (ÖAM) arasındaki ilişkiler de verilmiştir. Elde edilen ekserji analizi sonuçları kaynak karakteristiği ve jeotermal kaynağın optimum kullanım alanının belirlenmesinde etken olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal kaynaklar, Ekserji analizi, Kullanılabilirlik, Yenilenebilir enerji.

Classification of Geothermal Resources by Second Law Efficiencies in Turkey

Abstract: The investigations have been directed to technology development in the usage of natural resources as a result of increase in the world energy demand associated with environmental factors. It has also sparked interest in the scientific community to take a closer look at the energy conversion devices and develop the new techniques to better utilize the existing limited sources. Geothermal resources has a great importance for the energy potential in our country. Exergy of a system is the capability of doing work and exergy values of geothermal resources are the strongest criterion for determining the system efficiency. In this study, geothermal resources in Turkey have been classified based on specific exergy values (SEV). The relationship between specific electrical power (SEP) and specific fluid rate (SFR) is also given. The computed results of exergy analysis can be used as a tool for evaluating the characteristics of resources and the optimum application area of geothermal resources can also be defined.

Keywords: Geothermal resources, Exergy analysis, Availability, Renewable energy.

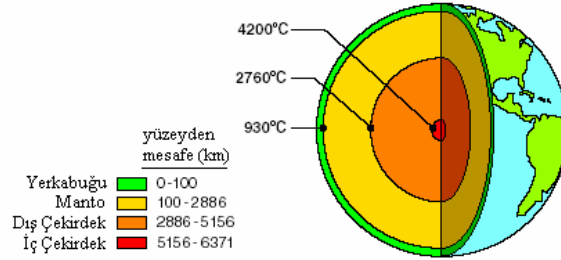
1. GİRİŞ

Enerji maliyetlerindeki artışlar yanında, dünya petrol rezervlerini 2050 yılında, doğal gaz rezervlerinin 2070 yılında ve kömür rezervlerinin 2150 yılında tükeneceği bilim adamları tarafından tahmin edilmesi ile hem enerjinin yoğun tüketicisi olan sanayide hem de diğer hizmet alanlarında enerji arzına ve tüketimine ait kısa, orta ve uzun dönemli planlamaların yapılması zorunlu görülmektedir. Ülkemiz, enerji ihtiyacının büyük kısmını petrol ve doğalgaz olarak ithal olarak sağlamakta bu durum ise dışa bağımlılığı sözkonusu etmektedir. Dünyadaki politik gelişmelere bağlı olarak enerji fiyatlarının sürekli artması, fosil yakıtların belli bir süre sonra bitecek ve üretiminin oldukça pahalı olması, alternatif enerji kaynaklarının tespit edilerek bu kaynaklardan yüksek verimle faydalanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş, sıcaklıkları atmosferik sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş minareller ve çeşitli tuzlar içerebilen sıcak su, buhar ve gazlar olarak tanımlanabilir. Ayrıca herhangi bir akışkan içermemesine rağmen bazı teknik yöntemlerle ısısından yararlanılan, yerin derinliklerindeki "sıcak kuru kayalarda" jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir. En geniş anlamda yerkabuğunda depolanan ısı enerjisi,

* Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Görükle, BURSA.

jeotermal enerjiyi oluşturmaktadır. Yerkürenin merkezi çok sıcak olduğundan yüzeye doğru ısı transferi olmakta ve dolayısıyla yüzeyden derine doğru inildikçe sıcaklık artmaktadır. Yerküre merkezine doğru ortalama sıcaklık artışı 30°C/km, semitermal bölgelerde 70°C/km, hipotermal bölgelerde ise 70°C/km değerinden fazladır. Şekil 1’de yerküre iç katmanları görülmektedir (Lund ve diğ., 1991). Deprem kuşakları ve volkanik aktivitelerin gözlemlendiği bölgelerde ise yerkabuğunun zayıf noktalarında yüzeye yakın kısımlara sokulmuş magma nedeniyle yukarıda bahsedilen değerlerin çok üzerinde sıcaklık değişimi gözlenir (Can, 1994). Ege bölgesinde jeotermal enerjili ısı pompalarında ekonomik analiz, çalışma sürelerine bağlı maliyet teknikleriyle gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar analitik hiyerarşi işlem metoduyla değerlendirilmiştir (Hepbaşı ve diğ., 2001).



Şekil 1.
Yerküre iç katmanları

1.1. Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları ve Avantajları

Jeotermal kaynaklar içerdiği ısı ve kimyasal maddeler sebebiyle değerlendirilmektedirler. Jeotermal enerjinin akışkan sıcaklığına göre başlıca faydalanılma alanları şunlardır (Can, 1994 ve Lund ve diğ., 1998):

1. Isı enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi
2. Doğrudan ısı enerjisinden endüstriyel amaçlı ısıtma ve kurutma işlemlerinde yararlanılması (şeker, tekstil, kağıt, ilaç, konserve vb. ürünlerde)
3. Merkezi sistemle ısıtma ve soğutmada kullanımı (sera, toplu konut, kampüs vb. ısıtılması ve soğutulması)
4. Kimyasal madde üretimi (tatlı su, mineral ve kimyasal tuz üretimi vb)
5. Turistik ve tedavi amaçlı kaplıca, yüzme havuzu ve turistik tesislerde kullanımı

Jeotermal enerjinin temel avantajları ise şunlardır (Can, 1994 ve Lund ve diğ., 1998):

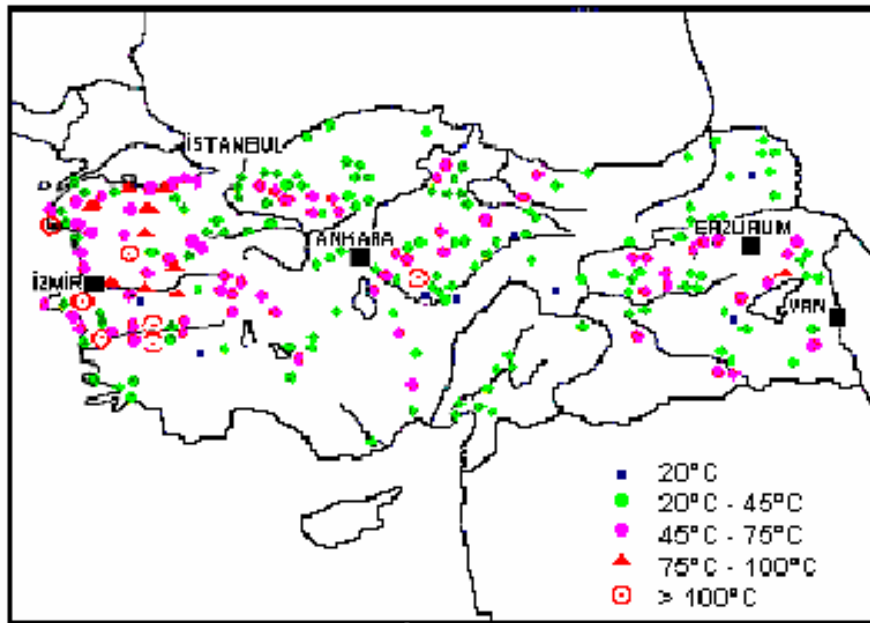
1. Jeotermal enerjinin öncelikle, birden çok amaca gerekirse aynı anda hizmet etmesi, çevre ve ekonomik açıdan sahip olduğu önemli avantajlarının başında gelmektedir.
2. Jeotermal kaynaklar, yeraltındaki rezervuarlar tarafından sürekli beslenmekte, ayrıca kullanılan jeotermal akışkanın yeraltına tekrar basılmasıyla kaynak yenilenebilmektedir.
3. Diğer enerji kaynaklarına göre oldukça ekonomiktir. Doğaldır, kendi kaynağımız olan jeotermal enerji dışa bağımlı değildir ve politik ilişkilerden etkilenmez. Büyük yatırımlar gerektirmemesi, yapılan yatırımı kısa sürede geri ödeyebilmesi ekonomik fayda oranının yüksekliğini işaret eder.
4. İhtiyaç duyduğu teknoloji seviyesini çok yüksek olmaması jeotermal enerjiye yapılacak yatırımı cazip kılmaktadır.
5. Jeotermal enerjinin kullanılması ile havaya karbonmonoksit, azot oksitler ve kükürt oksitler atılmamakta ve çevre kirletilmemektedir.

Türkiye, Hindistan Plakası ile Avrasya Plakasının çarpışması sonucu oluşan Dünyanın en büyük jeotermal kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya Kuşağı üzerindedir. 150 km genişliğinde ve 3000 km uzunluğunda olan kuşak İtalya, Yugoslavya, Yunanistan, Türkiye, İran, Pakistan, Hindistan, Tibet, Yunnan (Çin), Myanmar (Burma) ve Tayland'ı kapsamaktadır (Anonim, 2001). Dünya jeotermal kaynakları içinde Türkiye 7. en zengin potansiyele sahip ülke olup, sahip olduğu avantajlar kullanım alanlarının yoğunluğu

gözönüne alındığında jeotermal kaynakların Türkiye’de kullanımının yaygınlaştırılması vazgeçilmezdir. Türkiye’de ilk jeotermal araştırmalar 1960’lı yıllarda MTA tarafından başlatılmış ve günümüze değin yaklaşık %95’i direkt kullanıma uygun olan düşük ve orta entalpili 170 kaynak tespit edilmiştir. Türkiye’deki jeotermal kaynak sıcaklıklarının bölgelere göre oransal dağılımı Çizelge 1’de verilmektedir (Akkuş ve diğ., 1998). Sıcaklıklarına bağlı olarak Türkiye’deki jeotermal kaynakların dağılımı ise Şekil 2’de gösterilmektedir (Batık ve diğ., 2000).

Çizelge 1.
Türk jeotermal potansiyelinin bölgelere bağlı dağılımı.

Batı Anadolu		Orta Anadolu	
Pay (%)	Sıcaklık (°C)	Pay (%)	Sıcaklık (°C)
1	240-250	5	90-100
2	230-240	4	80-90
2	220-230	4	70-80
5	200-210	4	60-70
11	190-200	17	50-60
5	170-180	34	40-50
2	130-140	32	30-40
7	110-120	Dođu Anadolu	
3	100-110	Pay (%)	Sıcaklık (°C)
21	90-100	6	160-170
5	80-90	6	80-90
8	70-80	6	70-80
7	60-70	16	60-70
9	50-60	16	50-60
7	40-50	38	40-50
5	30-40	11	30-40



Şekil 2.
Ülkemizdeki jeotermal alanlar.

2. YÖNTEM

2.1. Jeotermal Kaynakların Sınıflandırılması

Jeotermal kaynaklar, kaynak akışkan sıcaklığına bağlı olarak düşük, orta ve yüksek entalpili kaynaklar olarak sınıflandırılmaktadır. Ancak literatürde sınıflandırma için kullanılan sıcaklık aralıkları birbirinden farklı olarak verilmekte ve söz konusu aralıklar için genel bir kabul görülmemektedir. Çizelge 2’de sıcaklık değerleri esas alınarak yapılan sınıflandırmalardaki çeşitlilik verilmektedir.

Çizelge 2.
Sıcaklığa bağlı jeotermal kaynak sınıflandırılması (Dickson ve Fanelli, 1990)

Kaynak	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Düşük Entalpi	<90°C	<125°C	<100°C	<150°C	20-70°C
Orta Entalpi	90-150°C	125-225°C	100-200°C	-	70-150°C
Yüksek Entalpi	>150°C	>225°C	>200°C	>150°C	>150°C

(a): Muffer ve Cataldi, 1978

(d): Haenal ve diğ., 1988

(b): Hochstein, 1990

(e): Anonim, 1996.

(c): Benderitter ve Cormy, 1990

Görüldüğü gibi jeotermal kaynakları sadece sıcaklıklarına, debilerine veya bir tek termofiziksel özelliğine göre sınıflandırmak, seçim kriterinin göreceli olması nedeniyle, yanıltıcı olabilir. Ayrıca bir akışkanın termodinamik özelliklerini belirlemek için en az iki bağımsız özellik gerekli olduğu bilinen bir gerçektir. Bu bakış açısıyla, jeotermal kaynakları termodinamik iş yapabilme kabiliyetlerine bağlı olarak sınıflandırmak daha anlamlı olacaktır.

Termodinamiğin birinci kanunu enerjinin niceliğiyle ilgilidir. Bu kanun, bir hal değişimi sırasında enerjinin hesabını tutmak için bir yöntem ortaya koyar ve enerjinin var veya yok edilemeyeceğini belirtir. Termodinamiğin ikinci kanunu ise enerjinin niteliğiyle ilgilidir. Bir hal değişimi sırasında enerjinin mevcut niteliğinin azalması, entropi üretimi, iş yapma imkanının değerlendirilememesi bu yasanın inceleme alanı içindedir. Proses analizlerinde termodinamiğin birinci kanununun yukarıda belirtilen yetersizliği, ikinci kanuna dayanan ekserji (kullanılabilir enerji miktarı-kullanılabilirlik) analizlerini önemli kılmakta ve dolaşısıyla, termodinamiğin ikinci kanunu, sistemlerin optimizasyonu için güçlü bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kullanılabilirlik, bir sistemin sahip olduğu enerjisiyle iş yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanabilmektedir. Bir sistemden mümkün olan en yüksek işi elde edebilmek için, sistemin sabit olan ilk halinden, hal değişimi sonunda, sistemin ölü noktasına gelmesi gereklidir. Ölü hal, sistemin çevresiyle termodinamik açıdan denge durumunda bulunması demek olup, ölü haldeyken sistemlerden elde edilebilecek yararlı iş potansiyelinin sıfır olduğu açıktır. Dolayısıyla, bir sistem, doğal çevrenin temel elemanları ile tersinir bir hal değişimi sonucu termodinamik denge durumuna (ölü hale) getirildiğinde elde edilebilecek iş miktarı, o sistem için en yüksek ekserji değerine karşılık gelmektedir. Bu tanım, bir cihazın termodinamik yasalara karşı gelmeden yapabileceği işin üst sınırını belirler. İkinci yasa verimi, sürecin, tersinir hal değişimine ne kadar yakın olduğunu belirleyen bir kriterdir. Bu tanıma bağlı olarak, ikinci yasa verimi,

$$\eta_{II} = \frac{\text{Sistemden elde edilen kullanılabilirlik}}{\text{Sistemin maksimum kullanılabilirliği}} \quad (1)$$

olarak ifade edilebilir.

Ekserji analizi, ısı sistemlerinin tasarım, analiz, seçim ve sınıflandırmasında katkıda bulunacak etkin bir araçtır. Bu araçla elde edilebilecek yüksek verim, doğrudan işletme giderlerini azaltarak ekonomik katkı sağlayacaktır.

İki farklı niteliğe sahip akışkan ele alalım.

[1] numaralı akışkan: $T=250^\circ\text{C}$ ve $h_s=1085.8$ kJ/kg ve

[2] numaralı akışkan: $T=155^{\circ}\text{C}$ ve $h_b=2751.2$ kJ/kg olsun.

Bu özelliklere göre, düşük entalpili akışkan [1], Çizelge 2’de verilen sınıflandırmalara bakıldığında sıcaklığına göre *yüksek entalpili kaynak*, yüksek entalpili akışkan [2] ise sıcaklığına göre *orta entalpili kaynak* olarak sınıflandırılmaktadır. Aslında hangisinin daha kaliteli bir kaynak olduğunu basınç P, sıcaklık T veya entalpi h değerlerinin tek başına verilmesiyle belirleyebilmek zordur. Bu çalışmadaki analiz neticesinde görülecektir ki, düşük sıcaklık yüksek entalpili olan akışkan [2] diğer akışkana göre [1] yaklaşık üç kat yüksek bir ekserji değerine sahiptir. Görülüyor ki, jeotermal kaynakları yalnızca sıcaklıklarına veya entalpilerine bakarak değerlendirmek yetersiz ve yanıltıcıdır. Termodinamikte anılan maksimum iş, kullanılabilirlik veya ekserji; enerji değerlerine göre daha iyi bir kriterdir. Yüksek bir enerji değerine sahip görünen bir sistem, termodinamik açıdan küçük bir iş yapabilme potansiyeline sahip olabilir. Bu çalışmanın amacı kaynakları sınıflandırmak için daha sağlam bir temele dayanan bir yol bulmaktır. Bu maksatla jeotermal kaynaklar, özgül ekserji verim (ÖEV) değerlerine bağlı olarak düşük, orta ve yüksek nitelikli kaynaklar olarak sınıflandırılacaktır.

Jeotermal kaynakları ekserji değerlerine göre sınıflandırabilmek için bir takım kararların alınması gereklidir. Bunlar;

- Akışkanı tanımlayacak nokta olarak; yeraltında sıcaklık ve basınç değerlerini tespit etmenin zor olduğu gözönüne alınarak, jeotermal akışkanın sahip olduğu enerjinin faydalı işe dönüşeceği yer kabuğunun üstüne çıktığı ilk nokta almak uygundur. Nitekim, Muffler ve Cataldi (1978) bu noktayı esas alarak çalışmalarındaki hesaplamaları yapmışlardır.
- Bu çalışmada, ekserji hesaplamalarında basitlik sağlamak için kaynak şartı olarak su için üçlü nokta özellikleri alınmıştır. Çünkü, sözkonusu şartlarda suyun entalpi ve entropi değerleri sıfırdır (Çengel ve Boles, 1989).
- Düşük, orta ve yüksek nitelikli kaynakları birbirinden ayıracak sınırlar görecelidir, keyfidir, kişiye göre değişebilir. Ancak mantıklı olan pratikte kullanılan sistemler ele alınarak yapılan değerlendirmedir. Bu maksatla, konvensiyonel buhar türbinleri kullanılarak elektrik üretebildiğimiz kaynaklar yüksek nitelikli, ısıtma amaçlı olarak doğrudan kullandığımız tesisler ise düşük nitelikli kaynaklar olarak kabul edilebilir. Bu doğrultuda, sınır değerler, 100 kPa basınçtaki doymuş sıvı ve doymuş buhar ekserji değerleri alınmıştır. Sınır değerleri gösteren sınır hatları, jeotermal kaynakları sınıflandırmak için Mollier diyagramı üzerinde gösterilmiştir.
- İki jeotermal kaynaktan hangisinin daha iyi olduğunu belirlemek için kaynakların toplam kapasiteleri veya toplam iş yapabilme yeteneklerini tanımlamak gereklidir. Sıcaklık ve özgül entalpi değerleri kullanıldığında, akışkanın toplam kütleli debisi kaynak kalitesini etkileyecek bir faktör olmaz. Buradan hareketle, kaynağın iş yapabilme kabiliyeti, maksimum özgül ekserji değeri ile belirlenebilir.

Doymuş sıvı ve doymuş buharın özgül ekserji, e, değeri

$$e = h - h_o - T_o (s - s_o) \quad (2)$$

olarak hesaplanabilir. Burada; h özgül entalpi (kJ/kg), s özgül entropi (kJ/kgK), T ise sıcaklık (K) olup, o indisli ölü şartları ifade etmektedir. Çizelge 3 ölü şartları üçlü nokta, 10°C ve 20°C alınarak yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilen özgül ekserji ve özgül ekserji verimi değerlerini göstermektedir. Su için termodinamik özellikler [Çengel ve Boles (1989)] çalışmasından sağlanmıştır. Çizelge 3’ten görülmektedir ki, özgül ekserji değerleri üçlü nokta ölü şart olarak ele alındığında 0-1192.6 kJ/kg aralığında değişmekte ve bu değerler mevsim, derinlik gibi parametrelere bağlı olarak değişen kaynak şartlarından oldukça etkilenmektedir. Buna karşılık ÖEV değerleri kaynak şartlarından etkilenmeyen kuvvetli bir göstergedir. ÖEV değerleri, ölü şart olarak üçlü nokta ele alındığında

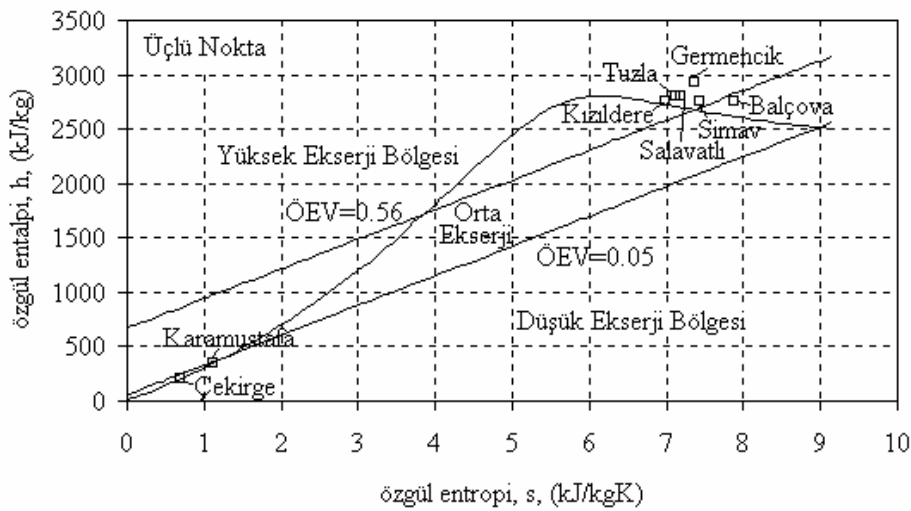
$$\text{ÖEV} = \frac{(h - 273.15 s)}{1192.6} \quad (3)$$

ifadesiyle hesaplanabilmektedir.

Çizelge 3.
Özgül ekserji ve özgül ekserji verim değerleri

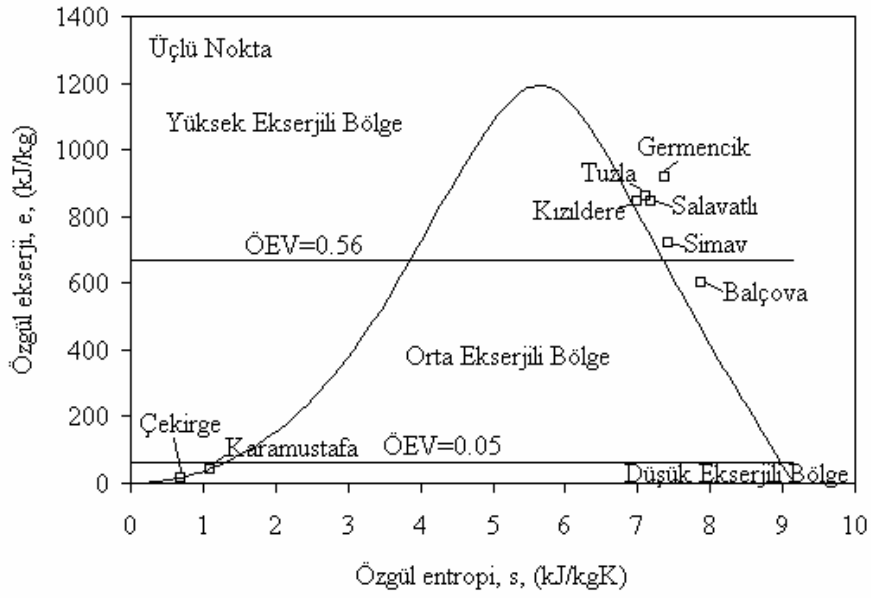
	P (kPa)	T (°C)	s (kJ/kgK)	h (kJ/kg)	e (kJ/kg) Üçlü Nokta	ÖEV (%) Üçlü Nokta	e (kJ/kg) 10°C	ÖEV (%) 10°C	e (kJ/kg) 20°C	ÖEV (%) 20°C
Üçlü Nokta	0.6112	0.01	0	0.00	0.00	0.00	0.77	0.00	3.00	0.00
	100	99.632	1.3027	417.51	61.66	0.05	49.42	0.04	38.62	0.04
	1000	179.88	2.1382	762.61	178.54	0.15	157.94	0.14	138.80	0.13
	2000	212.37	2.4469	908.59	240.19	0.20	216.52	0.19	194.28	0.18
Doymuş Sıvı	5000	263.91	2.9206	1154.50	356.71	0.30	328.30	0.29	301.33	0.28
	10000	310.96	3.3605	1408.00	490.05	0.41	457.24	0.40	425.87	0.39
	14000	336.64	3.6242	1571.60	581.61	0.49	546.17	0.48	512.17	0.47
	20000	365.7	3.8765	1734.80	675.90	0.57	637.93	0.56	601.40	0.56
Kritik Nokta	22120	374.15	4.4429	2107.40	893.78	0.75	850.16	0.75	807.96	0.75
	20000	365.7	4.9412	2418.40	1068.66	0.90	1020.00	0.90	972.83	0.90
	14000	336.64	5.3803	2642.40	1172.72	0.98	1119.67	0.98	1068.11	0.99
	10000	310.96	5.6198	2727.70	1192.60	1.00	1137.15	1.00	1083.20	1.00
	9000	303.31	5.682	2744.60	1192.50	1.00	1136.44	1.00	1081.86	1.00
Doymuş	5000	263.91	5.9735	2794.20	1162.48	0.98	1103.50	0.97	1046.01	0.97
	2000	212.37	6.3367	2797.20	1066.27	0.89	1003.66	0.88	942.54	0.87
Buhar	1000	179.88	6.5828	2776.20	978.04	0.82	912.98	0.80	849.39	0.78
	500	151.84	6.8192	2747.50	884.77	0.74	817.34	0.72	751.39	0.69
	100	99.632	7.3598	2675.40	665.00	0.56	592.17	0.52	520.82	0.48
	0.6112	0.01	9.1575	2501.70	0.24	0.00	-90.54	-0.11	-179.88	-0.23

Şekil 3'te, ölü şartlar olarak üçlü noktanın alındığı hal için ülkemiz jeotermal kaynaklarının sınıflandırılmasına ait bir örnek Mollier diyagramı verilmiştir. Kaynakları ayıran sınır değerler olarak ÖEV=0.56 ve ÖEV=0.05 olarak alınmıştır. Bu verim değerleri sırasıyla 100 kPa basınçtaki doymuş su ve doymuş buhar için ölü şart olarak üçlü nokta alınması durumunda elde edilen değerlerdir. Bu durumda, ÖEV değeri 0.56 ve üzerindeki alan yüksek ekserjili veya yüksek kaliteli bölgeyi, 0.05 ve altındaki ÖEV değerleri düşük ekserjili bölgeyi, ara haller ise orta kaliteli kaynakları göstermektedir.



Şekil 3.
Jeotermal kaynakların ÖEV değerlerine bağlı sınıflandırılması

Benzer bir sınıflandırma Şekil 4'te görülen özgül ekserji-özgül entropi diyagramında da yapılabilir.



Şekil 4.
Jeotermal kaynakların sınıflandırılması

Özgül ekserji verimi değerleri tespit edildikten sonra kaynaktan elde edilebilecek özgül elektrik gücü, ÖEG, [kWe/(kg/s)] ve bunun için sarf edilmesi gereken özgül akışkan miktarı, ÖAS, [(t/h)/MWe] tespit edilebilir. Özgül elektrik gücü (ÖEG) ve özgül akışkan miktarının (ÖAS) tespiti için sırasıyla (4) ve (5) numaralı ifadeleri kullanılabilir (Lee, 2000).

$$\text{ÖEG} = 500 \times \text{ÖEV} \quad (4)$$

$$\text{ÖAS} = \frac{3.6}{0.5 \times \text{ÖEV}} \quad (5)$$

Ülkemiz jeotermal potansiyeli içerisinde elektrik üretimine uygun olan yüksek ekserjili kaynaklar için (4) ve (5) numaralı denklemler kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4.
Jeotermal potansiyelimizde özgül elektrik gücü ve özgül akışkan miktarları

	ÖEV (%)	ÖEG kWe/(kg/s)	ÖAS (t/h)/MWe
Kızıldere	0.707	353.50	10.18
Balçova	0.5	250.00	14.40
Simav	0.6	300.00	12.00
Germencik	0.77	385.00	9.35
Tuzla	0.72	360.00	10.00
Salavatlı	0.708	354.00	10.17

Çizelge 4'te görülen kaynaklar içerisinde Kızıldere'de kurulu tesiste şu anki verilerle ÖAS miktarı 9.94 (t/h)/MWe olup, bu tesis için hesaplama ve tesis verileri arasındaki uyum 0.98 mertebesinde.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Kendi öz varlığımız olan, dışa bağımlı olmayan, teknik ve ekonomik avantajlara sahip olan, çevre dostu jeotermal kaynakların maksimum ölçüde değerlendirilmesi enerji ekonomisi çalışmalarında önemli yer tutmaktadır. Bu doğrultuda, tüm diğer ısı sistemlerinde olduğu gibi termodinamiğin ikinci kanununun jeotermal kaynaklar için uygulanması, sistem verimliliği, kullanılabilirliği ve sınıflandırılması için sağlam bir temel oluşturur.
2. Bir akışkanın termodinamik özelliklerini belirlemek için bağımsız iki farklı özelliğin gerekli olması nedeniyle tek başına sadece sıcaklık veya entalpi değerinin bilinmesi sınıflandırma için yeterli değildir. Bu açıdan bakılarak, iş yapabilme kabiliyetinin bir ölçüsü olan ekserji değerlerine bağlı olarak kaynaklar sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmanın yapılabilmesi kaynak özelliklerinin tespitini gerektiren ölçümlere (basınç, sıcaklık, debi) bağlıdır.
3. Temel şart olarak üçlü nokta ele alındığında, özgül ekserji verimi, \dot{OEV} , $\dot{OEV} = (h - 273.15 \text{ s}) / 1192.6$ ifadesiyle hesaplanabilmektedir. Burada ayırt edici sınırlar, pratikte kullanılan tesisler göz önüne alınarak, 100 kPa'daki doymuş sıvı ve doymuş buhara ait \dot{OEV} değerleri kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak, $\dot{OEV} \geq 0.56$ yüksek ekserji, $0.56 < \dot{OEV} < 0.05$ orta ekserji ve $\dot{OEV} \leq 0.05$ ise düşük ekserjili bölge olarak kabul edilmiştir.
4. $\dot{OEV} = 0.56$ ve $\dot{OEV} = 0.05$ doğruları Mollier (h-s) ve Rant (e-s) diyagramlarında çizilerek sınıflandırma için sınır hatlar belirlenmiştir. Bu yolla jeotermal kaynaklar için sınıflandırma grafikleri oluşturulmuştur.
5. Sınıflandırmadan görülmektedir ki, atmosferik basınç altında sıcak sulu kaynakların \dot{OEV} değerleri 0.05'in altında olup düşük ekserji değerlerine sahiptirler. Buna karşılık buhar üreten kaynakların \dot{OEV} değerleri genellikle 0.56'ın üzerindedir. Bu tip kaynaklar yüksek ekserjili bölgededirler.
6. Ayrıca \dot{OEV} değeri elektrik üretimi için gerekli özgül akışkan miktarı ve kaynaktan elde edilebilecek elektrik gücü için kuvvetli bir göstergedir.
7. Jeotermal potansiyeli sıralamasında Dünya 7. olan ülkemizde yaklaşık 170 sondaj kuyusunun var olduğu düşünülünce konu üzerindeki çalışmaların artırılması gerektiği açıktır. Özellikle jeotermal potansiyelin bulunduğu bölgelerde başta MTA, yerel yönetimler, üniversiteler, DSİ, ilgili diğer kurumların ortaklaşa ve koordineli olarak çalışmalarını hızla yürütmeleri gereklidir.

4. KAYNAKLAR

1. Akkuş, I., Koçak, A., Batık, H. (1998) Geothermal energy and MTA, 4th National Balneology Congress, İstanbul.
2. Anonim. (1996) Madencilik özel ihtisas komisyonu-endüstriyel hammaddeler alt komisyonu-jeotermal enerji çalışma grubu raporu, TC Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Yayın No:DPT:2441-ÖİK:497, 54 s.
3. Anonim. (2001) Madencilik özel ihtisas komisyonu raporu-enerji hammaddeleri alt komisyonu-jeotermal enerji çalışma grubu, TC Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Yayın No:DPT:2609-ÖİK:620, 67 s.
4. Batık, H., Koçak, A., Akkuş, I., Şimşek, S., Mertoğlu, O., Dokuz, İ., Bakır, N. (2000) Geothermal energy utilisation development in Turkey - present geothermal situations and projections, Proc. World Geothermal Congress, Japan, 85-91.
5. Benderitter, Y. and Cormy, G. (1990) Possible approach to geothermal research and relative cost, Dickson, M.H. and Fanelli, M. (eds), Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization, UNITAR, New York, 59-69.
6. Can, M. (1994) Bursa'da Jeotermal enerjinin merkezi ısıtma sistemlerinde kullanılabilirliğinin incelenmesi, Ekoloji, 13:44-49.
7. Çengel, Y., Boles, M.A. (1989) Thermodynamics: An Engineering Approach. McGraw Hill Book Co. International Edition, Singapore, 859 p.
8. Dickson, M.H., Fanelli, M. (1995) Geothermal Energy, John Wiley and Sons, West Sussex, England, 214 p.
9. Haenal, R., Rybach, L. and Stegena, L. (1988) Fundamentals of geothermics, Haenal, R., Rybach, L. and Stegena, L. (eds), Handbook of Terrestrial Heat Flow-Density Determination, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 9-57.

10. Hepbaşı, A., Eltez, A. and Hancıoğlu, E. (2001) A feasibility study on geothermal heat pumps in Aegean Region of Turkey. *Int. Thermal Congress*, İzmir, 43-48.
11. Hochstein, M.P. (1990) Classification and assessment of geothermal resources, Dickson, M.H. and Fanelli, M. (eds.), *Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization*, UNITAR, New York, 31-57.
12. Lee, K.C. (2000) Classification of geothermal resources by exergy. *Geothermics*, 30:431-442.
13. Lund, J.W., Lienau, P.J. and Lunis, B.C. (1998) *Geothermal Direct-Use Engineering and Design Guidebook*, United States Department of Energy, Idaho, 454 p.
14. Muffler, P., Cataldi, R. (1978) Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics*, 7:53-89.