

## AFYON JEOTERMAL MERKEZİ ISITMA SİSTEMİ, EKONOMİSİ VE HAVA KİRLİLİĞİNİ ÖNLEMEDEKİ KATKISI

Geothermal Heating System of Afyon, Turkey; Its Economy and Role in Reducing the Air Pollution

Eyüp SABAH<sup>^</sup>  
Mustafa Yavuz ÇELİK\*\*\*\*

**Anahtar Sözcükler:** Afyon, Hava Kirliliği, Jeotermal Enerji, Isıtma Sistemi.

## ÖZET

Alp-Himalaya tektonik kuşağı üzerinde bulunan ülkemiz, zengin jeotermal kaynaklara sahip ülkelerden birisidir. Doğal, temiz, ucuz, emniyetli ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan jeotermal enerji, gelecekte de alternatif bir enerji kaynağı olacaktır. Hava kirliliği yüksek iller arasında yer alan Afyon, aynı zamanda önemli bir jeotermal potansiyele sahiptir. Bu potansiyeli değerlendirmek üzere, 1994 tarihinde kurulan ve 1996 yılında işletmeye alınan Afyon Jeotermal Enerji Isıtma Sistemi'nin kurulu kapasitesi 10.000 konut olup, halen 3.970 konut başarılı bir şekilde ısıtılmaktadır. Afyon'da her 100 m<sup>2</sup> net alanın ısıtılması için gerekli olan ısı ihtiyacı 8.484 kCal/saat olup, jeotermal enerji ile ısıtılan 3.970 konut ve eşdeğeri 426.099 m<sup>2</sup> konut alanı için harcanan enerji 30.727.700 kCal/saat'tir. Bu enerji, saatte yaklaşık 7 ton Tunçbilek kömürünün yakılması ile elde edilen ısı enerjisine eşdeğer bir enerji olup, bir yıl içinde tasarruf edilen kömür miktarı (Tunçbilek kömürü) yaklaşık 30.000 ton'dur. Jeotermal enerji yerine Tunçbilek kömürü yakılarak bu konutlar ısıtılmış olması halinde, her yıl atmosfere yaklaşık 743 ton SO<sub>x</sub> ve 4.950 ton partikül madde karışmış olacaktı. Afyon örneğinden elde edilen bu sonuçlar, jeotermal ısınma ile binlerce ton SO<sub>x</sub> ve partikül madde emisyonunun önlendiğini ve jeotermal enerjinin sadece ucuz bir alternatif enerji kaynağı olmayıp, aynı zamanda çevre dostu bir enerji olduğunu da göstermektedir.

## ABSTRACT

Turkey located in the Alpine-Himalian Orogenic Belt is one of the countries in the world with abundant geothermal resources. The natural, clean, cheap, reliable and renewable nature of geothermal energy is considered to be an alternative future energy resource. Afyon, is one of the important geothermal fields, suffers from high risk of air pollution. In order to utilise this potential, the construction of Afyon Geothermal Heating System, was initiated in 1994 and put into operation in 1996 with an installed capacity of 10,000 residents out of which 3,970 residence is successfully heated. The heat requirement for every 100 m<sup>2</sup> area of residence is 8,484 kCal/h and total energy spent for a the total area of 426,099 m<sup>2</sup> is 30,727,300 kCal/h. This is equivalent to the energy produced by burning 7 tph Tunçbilek coal which leads to a savings of 30,000 tpy Tunçbilek coal. If Tunçbilek was burned instead of the use of geothermal energy, every year 743 tons of SO<sub>x</sub> and 4,950 tons of particulate matter would have been emitted to the atmosphere. The results obtained from Afyon experience reveals that not only the emission of tremendous amounts of pollutants is eliminated but also a cheap energy alternative with an environment friendly fuel is provided.

<sup>^</sup>2 Yrd. Doç. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, 03000 AFYON

<sup>\*\*\*\*</sup>Öğr. Grv., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksek Okulu, 03000 AFYON

## 1. GİRİŞ

Günümüzde dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmı; kömür, petrol ve doğal gazı içeren fosil yakıtlar ile su kaynakları (hidrolik enerji) ve nükleer enerjiden karşılanmaktadır. Ayrıca, jeotermal enerji ile güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları ve bunların yam sıra biyogaz, odun gibi alternatif enerji kaynakları da kullanılmaktadır. Bunların arasında fosil yakıtlar, geçmişe oranla payı azalmakla birlikte, bugün de birincil enerji kaynakları arasında en önemli yere sahip bulunmaktadır. Değişik hesaplama tekniklerine dayanan farklı değerlendirmeler bulunmakla birlikte, genel olarak dünya enerji tüketiminin %70-80'ninin fosil enerji kaynaklarından, %5'nin su kaynaklarından, %5-10'unun nükleer enerjiden ve %5-10'nun da yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlandığı tahmin edilmektedir. Bu dağılım içinde fosil enerji kaynaklarından kömürün %25, petrolün %30 ve doğal gazın ise %20'lik bir paya sahip olduğu bilinmektedir (Kaym, 1998). Dünya fosil enerji rezervleri (halen bilinenler bazında) 1998 yılı sonu itibariyle şöyledir: (BP Amoco, 1999).

Rezerv miktarları:

Petrol : 143,4x10<sup>9</sup> ton  
Doğal Gaz : 146,4 trilyon m<sup>3</sup> (134,4x10<sup>9</sup> ton petrol eşdeğeri)  
Kömür : 984,211x10<sup>6</sup> ton

Bu rezervlerin %77,3'ünü kömür, %11,2'sini petrol ve % 10,5'ini doğal gaz oluşturmaktadır. Bugünkü tüketim hızı ile, bilinen petrol rezervlerine 41 yıl, doğal gaz rezervlerine 63 yıl ve kömüre ise 218 .yıllık bir ömür biçilmektedir (BP Amoco, 1999).

Dünya Enerji Konseyi Türk. Milli Komitesi yıllık raporuna (Milliyet Ekonomi, 1998) göre, 1998 yılı itibariyle Türkiye'nin toplam enerji talebi 77.301.000 ton TEP (ham petrol eşdeğeri-ton) civarındadır. Türkiye, bu talebin

halen %62'sini dış kaynaklardan karşılamaktadır. Türkiye ekonomisinin ve nüfusunun hızla büyüdüğü göz önüne alındığında 2000 yılında bu talebin 91.030.000 TEP'e, 2010 yılında 175.074.000 TEP'e ve 2020 yılında ise 314.400.000 TEP'e ulaşması beklenmektedir. Türkiye artan bu talebin ancak %30'unu birincil enerji kaynaklarından karşılayabilecektir. Türkiye'nin en önemli birincil enerji kaynakları hidrolik ve linyittir. Günümüzde bunların kullanılabilirlik durumu, hidrolik için %29, linyit için ise ancak %36'dır. Bu bağlamda 2020 yılında Türkiye'nin 143 milyon ton taş kömürü, 74 milyon ton ham petrol ve 79 milyar m<sup>3</sup> doğalgaz ve sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG) ithal etmesi beklenmektedir (Tuncalı, 1998).

Yukarıda özetlenen verilerin ışığında, artan enerji talebini karşılayabilmek için bugün olduğu gibi önümüzdeki yıllarda da, Türkiye alternatif enerji kaynaklarına yönelmek, doğal kaynaklarının en yüksek düzeyde kullanımını sağlamak ve bu kaynakları teknik, ekonomik, sosyal, politik ve çevresel etkileri birarada düşünerek en iyi şekilde değerlendirmek zorundadır. Bunlar, yenilenebilir ana enerji kaynaklarımızdır. Bu kaynaklar içinde en önemlisi hiç kuşkusuz jeotermal enerjidir. Türkiye jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyada yedinci sırada yer almaktadır. Jeotermal enerji; ucuz, yenilenebilir ve çevre dostu bir enerji türü olup, geleceğin enerjisidir. Türkiye'de sıcaklığı 40 °C'nin üzerinde 140 jeotermal saha bulunmasına rağmen, henüz birkaçı dışında bunların devreye sokulamaması Türkiye için büyük bir kayıptır. Ülkemizde halen, çevre dostu bu yeşil enerji potansiyelinin ancak %0,9'dan yararlanılmaktadır. Türkiye bu konuda diğer ülkelere göre geç kalmış sayılmaktadır. Ancak sevindirici olan, ülkemizin şu anda jeotermal elektrik dışı değerlendirmeler açısından, dünyada en hızlı ilerleyen ülkeler arasında yer almasıdır. Bu hız devam ettiği ve bir olumsuzluk olmadığı sürece 2000 yılının ilk çeyreğinde Türkiye, jeotermal ısıtma, soğulma

değerlendirmelerinde dünyanın birinci ülkesi olmaya aday konumundadır.

Bu çalışmanın amacı; jeotermal enerjinin ısıtma amaçlı kullanımına dikkat çekmek ve bu tür kaynaklara sahip diğer bölgelerimize örnek oluşturması açısından önemli bir jeotermal potansiyele sahip Afyon Merkezinde, jeotermal enerji kullanımının ekonomisini ve hava kirliliğini önlemedeki katkısını güncel rakamlarla ortaya koymaktır.

## 2. DÜNYADA DURUM

İlk çağlardan beri şifa için kullanılan doğal sıcak su kaynakları, 1800'lü yıllarda ilk defa Amerika'da jeotermal ısıtma amaçlı olarak değerlendirilmiştir. Daha sonra 1905 yılında Larderello (İtalya) yöresinde yine ilk defa jeotermal buhardan elektrik üretimine başlanmış ve 1912 yılında gücü 25 kWe olan ilk turbo jeneratör kurulmuştur. 1930'larda ise bu enerji İzlanda'nın Reykjavik kentinde yine ısıtma amacıyla kullanılmaya başlamış; 1949 yılında Yeni Zelanda Wairakei sahasında turistik bir otele sıcak su temini amacıyla başlanan sığ sondajlara daha sonra elektrik elde edebilmek amacıyla devam edilmiş ve 1954 yılında 200 MWe kapasiteli bir santral kurulmuştur. 1960'da Amerika'da, 1961'de Meksika'da ve 1966'da Japonya'da santraller kurularak jeotermal enerjinin kullanımında önemli gelişmeler sağlanmıştır (DPT, 1996).

Bu gün için jeotermal enerji, dünyada enerji sektöründe sadece %0,2'lik bir pay almaktadır. Ancak, ülkelere göre bu oran büyük ölçüde değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin Filipinler'de jeotermal santraller, toplam kapasitenin % 17'sini oluşturmaktadır (DPT, 1996). 1996 yılı rakamlarıyla dünyada 220 trilyon TL'lik petrol eşdeğeri jeotermal ısıtma gerçekleştirilmektedir. Burada ABD tek başına 1 katrilyon 467 trilyon TL eşdeğeri ısıtma hedeflemektedir (Yılmaz, 1996).

Bu gün dünyada jeotermal enerjiye dayalı elektrik üretimi kurulu güç kapasitesi, 1998 yılı rakamlarıyla (Çizelge 1) 22 ülkede 8.600 MWe'ye ve ısıtma amaçlı doğrudan kullanımda ise, 1997 yılı verilerine (Çizelge 2) göre, 11.300 MWt'a ulaşmıştır (ORME Jeotermal, 1999).

## 3. TÜRKİYE'DE DURUM

Alp-Himalaya tektonik kuşağı üzerinde bulunan ülkemiz, İzlanda ve Japonya ile beraber en zengin jeotermal kaynaklara sahip ülkeler arasında yer almaktadır. Düşük (<70°C), orta (70-150°C) ve yüksek (>150°C) sıcaklıkta olmak üzere bilinen 140 saha mevcuttur (Mertoğlu, 1997). Jeotermal kaynaklar açısından en zengin yöre İzmir, ardından Denizli ve onu Simav, Gönen, Aydın, Afyon ve Çeşme izlemektedir. Bunlardan Denizli-Kızıldere ve Aydın-Germencik sahaları klasik yöntemlerle elektrik üretimine uygun sahalardır. Bunların yamsıra, Çanakkale-Tuzla, Kütahya-Simav, Aydın-Salavatlı, İzmir-Seferihisar ve Dikili gibi yeni teknolojilerin uygulaması ile elektrik üretebilecek orta entalpili sahalarda da mevcuttur. Ülkemizde sadece Kızıldere jeotermal sahasında 20,4 MWe kapasiteli bir santral ile 1984 yılından beri elektrik üretimi yapılmaktadır.

Türkiye jeotermal enerji potansiyelinin yaklaşık %87'si ısıtmaya uygun sahalardan oluşmaktadır (Mertoğlu ve Başarır, 1995). Isıtma amaçlı bu potansiyelin gücü yaklaşık 31.500 MWt civarındadır. Bununla ülkemizde 5 milyon konutu rahatlıkla ısıtmak mümkün olabilmektedir (Mertoğlu ve diğ., 1994). Günümüzde ülkemizin ısıtma amaçlı kurulu güç kapasitesi 219 MWt olup bununla yaklaşık 30.000 konut ısıtılmaktadır. Jeotermal enerjinin konut ısıtmacılığında kullanıldığı önemli merkezler ve kapasiteleri Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelge 3'den de görüldüğü gibi Türkiye'de mevcut potansiyelin ancak %0,9'undan yararlanılmaktadır. Bu enerjinin

Çizelge 1. Jeotermal Enerjiden Elektrik Üreten Ülkeler ve Kurulu Kapasiteleri (ORME Jeotermal, 1999).

ÜLKE	GUÇ (MWe) (1998)
ABD	2.850,0
Avustralya	0,4
Çin	32,5
El Salvador	105,0
Endonezya	589,5
Filipinler	1.848,0
Fransa	4,2
Guatemala	5,0
İtalya	728,5
İzlanda	140,0
Japonya	530,0
Kenya	45,0
Kosta Rika	120,0
Meksika	743,0
Nikaragua	70,0
Portekiz	11,0
Rusya	11,0
Tayland	0,3
Türkiye	20,4
Yeni Zelanda	345,0
<b>TOPLAM</b>	<b>8.198,8</b>
<b>KURULU GUÇ (1998)</b>	<b>8.600,0</b>

merkezi ısıtma, soğutma ve kaplıca amaçlı (Termalizm) kullanılması durumunda Türk ekonomisine, önemli ekonomik ve sosyal bir katkı sağlanacaktır (Termodinamik, 1995).

Türkiye'de jeotermal kaynaklar,

- Elektrik enerjisi üretiminde,
  - Isıtmada,
  - Proses sıcak su üretiminde,
  - Kaplıca amaçlı kullanımda (Termalizm),
  - Kimyasal madde üretiminde
- değerlendirilmektedir

Jeotermal enerji kaynaklarımızın 2000 yılına kadar değerlendirilmesiyle ülkemizde 1,02 milyon ton/yıl kalorifer yakıtının eşdeğeri enerji üretilecek, bununla yılda yaklaşık 300 milyon dolarlık döviz tasarrufu sağlanacaktır.

Çizelge 2. Dünyada Jeotermal Enerjinin Elektrik Dışı Uygulamaları (ORME Jeotermal, 1999).

ÜLKE	GUÇ (MWt) (1996)
ABD	1.874,00
Almanya	32,00
Avusturya	2,10
Belçika	3,90
Bulgaristan	133,10
Cezayir	100,00
Çin	1.915,00
Danimarka	3,50
Fransa	599,00
Guatemala	2,64
Gürcistan	245,00
İsrail	44,20
İsveç	47,00
İsviçre	110,00
İtalya	307,00
İzlanda	1.443,00
Japonya	319,00
Kanada	1,68
Macaristan	340,00
Makedonya	69,50
Polonya	63,00
Romanya	137,00
Rusya	210,00
Saray Bosna	80,00
Slovakya	99,70
Slovenya	37,00
Türkiye(1999)	219,90
Yeni Zelanda	264,00
Yunanistan	22,60
<b>TOPLAM</b>	<b>8.743,90</b>
<b>KURULU GÜÇ (1997)</b>	<b>11.300,00</b>

1,02 milyon ton petrol eşdeğerinin %85'inin ısıtmadan %15'inin de elektrik üretiminden sağlanacağı dikkate alındığında, teorik olarak 31.500 MWtik bir jeotermal kapasiteye sahip ülkemizde, bu kaynağın çok büyük bir kısmının kullanılabilmesi durumunda bu uygulamadan milyar dolar düzeyinde tasarruf sağlamak mümkün olabilecektir (Yılmaz, 1996).

Çizelge 3. Halen İşletilmekte Olan Jeotermal Isıtma Sistemleri ve Kapasiteleri (DPT, 1996; ORME Jeotermal, 1999).

YER	KAPASİTE (MWt)
Afyon	28,00
Afyon-Bolvadin	1,05
Afyon-Gazlıgöl	0,64
Afyon-Oruçoğlu	3,00
Afyon-Ömer	2,60
Çanakkale-Kestanbol	3,37
Gediz	0,23
Gönen	25,00
Havza	0,07
Haymana	0,07
İzmir	21,00
Kırşehir	18,25
Kızılcahamam	17,00
Kütahya-Yoncalı	0,93
Rize-Ayder	0,24
Salihli	0,26
Simav	66,00
Simav-Eynal	2,20
Diğerleri (Havran, Hüdai, Hisaralan vd.)	30,00
<b>TOPLAM</b>	<b>219,91</b>

#### 4. AFYON JEOTERMAL MERKEZİ ISITMA SİSTEMİ

Kısa adı AFJET olan Afyon Jeotermal Isıtma; jeotermal su kaynaklarıyla bina ısıtma tesisleri kurmak, dönüş suları ile seralara su temin etmek amacıyla 14.02.1994 tarihinde kurulmuştur. 300 milyar TL sermaye ile kurulan bu anonim şirketin ortakları; Afyon İl Özel İdare Müdürlüğü (%59,42), Afyon Belediyesi (%26,66), Afyon Ticaret ve Sanayi Odası (%6,03) ve diğer küçük ortaklıklar (%7,89)'dır. Bu sermayeye ilaveten 1996-1997 yıllarında abonelerden toplanan 158 milyar TL ile birlikte merkezi ısıtma sisteminin ilk yatırım maliyeti toplam 458 milyar TL'dir. Proje hedefi 10.000 konutun ısıtılması olan ve 1996 yılında işletmeye alınan Afyon Jeotermal Isıtma Sistemi ile halen 3.970 konut

ısıtılmakta olup, ısıtılan alan miktarı 426.099 m<sup>2</sup>'dir.

Merkezi ısıtma için gerekli olan jeotermal kaynaklar, Ömer-Gecek bölgesinde yer almaktadır. Burada AFJET'e ait, jeotermal ısıtma yöntemine uygun teçhizatla donatılmış, 10 adet kuyu bulunmaktadır. Halen faal olan 9 adet kuyunun debisi 484,5 İt/sn olup, jeotermal ısıtma için ihtiyaç duyulan üretim, ortalama 95°C sıcak ve 170 İt/sn debi ile üç kuyudan sağlanmaktadır. Kuyularda uygun şartlarda üretim yapılması nedeniyle herhangi bir basınç düşmesi ve üretim azalmasına rastlanmamış, aksine kuyuların verimi daha da artmıştır. Kuyulardan üretilen jeotermal sular, 56,5 m<sup>3</sup>'lük iki adet silindirik merkezi seperatörlerde içindeki gazlardan ayrıştırıldıktan sonra toplama merkezindeki 1.000 m<sup>3</sup> kapasiteli havuzda uygun tekniklerle toplanmaktadır. Daha sonra bu sular ana isale hattı ile şehirdeki Afyon merkezi ısıtma tesisine pompalanmaktadır. Ana isale hattı, 14.650 m uzunluğunda ve çapı 450 mm olan epoksi kaplı izoleli geliş hattı ile izolesiz aynı çapta geri dönüş hattından ibarettir. Hat üzerinde oksidasyonu kontrol etmek amacıyla katodik koruma teşkilatı kurulmuştur.

Merkezi ısıtma binası, Afyon Devlet Hastanesi ile İl Tarım Müdürlüğü arasında yer almakta ve bu binada ısı transferi için, biri yedek olmak üzere, 16.000.000 kCal/saat kapasiteli 5 adet plakalı ısı eşanjörü bulunmaktadır. Yine aynı binada değişik amaçlarla kullanılmak üzere 16 adet pompa, 300 ton'luk geri dönüş suyu toplama havuzu, 5 adet denge tankı, Pick-Power sistemi ve su tasfiye-ısıtma tesisi yer almaktadır (Şekil 1).

Jeotermal dönüş suyu, merkezi ısıtma sisteminin yakınından geçen Akarçay adı verilen bir dereye beslenmektedir. Jeotermal enerji çevre dostu bir enerji olmasına karşın, jeotermal akışkanın içerdiği bor, arsenik vb. gibi kirletici kimyasallar çevre için tehlike arz etmektedir. Ancak, Afyon Jeotermal Merkezi

Isıtma Sistemi geri dönüş suyunun bor konsantrasyonu 0,224 ppm olup, çevre kirlenmesi açısından sınır değerlerin çok altındadır; zira Dünya Standartlarında bor için verilen sınır değeri 1 ppm'dir (Koç, 1996).

Halen Akarçay'a beslenen jeotermal dönüş suyunun, jeotermal havzaya geri beslenebilmesi için gerekli olan re-enjeksiyon kuyusu inşası tamamlanmıştır. 500 metre derinlikte ve bir fay kırığında açılan re-enjeksiyon kuyusunun test çalışmaları devam etmekte olup önümüzdeki aylarda işletmeye alınacaktır (Karabuğa, 1999).

Ocak-1999'dan itibaren, merkezi ısıtma sisteminin uzun ömürlü olmasını temin etmek amacıyla sistemin basıncının düşürülmesi ve düzenli bir sirkülasyon sağlanmasına yönelik bina altı eşanjör sistemine geçilmiştir. Böylelikle bina içi sıcaklığı  $A_t=20^{\circ}\text{C}$ 'de tutularak ısı ekonomisi yeniden tesis edilmiş olacaktır.

#### 4.1. Afyon'da Isıtma Amaçlı Jeotermal Enerji Kullanımının Ekonomisi

Jeotermal enerjide üretim maliyeti, diğer enerji kaynaklarına göre, özellikle fosil yakıtlara göre, çok daha düşüktür. Entegre kullanımlar söz konusu olduğu durumlarda maliyet daha da düşük olmaktadır. 1998 yılı sonu itibariyle toplam yatırım maliyeti 1.300.000.000.000, TL olan Afyon Jeotermal Isıtma Sistemine ait önemli maliyet unsurları Çizelge 4'de verilmiştir. Çizelge 4'den de görüleceği gibi, amortisman için ayrılan %50,25'lik payın dışında, giderin %15,83'lük kısmını elektrik enerjisi oluşturmaktadır. Kimyasal madde, bakım ve genel giderler için yapılan harcamanın oram %27,23 olup işçilik, yönetim ve personel giderlerinin harcamalar içindeki payı %6,69'dur.

Jeotermal enerji ile ısıtmaya geçiş, diğer konvansiyonel ısıtma sistemlerine geçişten çok daha ucuzdur. Zira jeotermal merkezi ısıtma sistemi ile ısınan evlere kazan, fuel-oil brülörü,

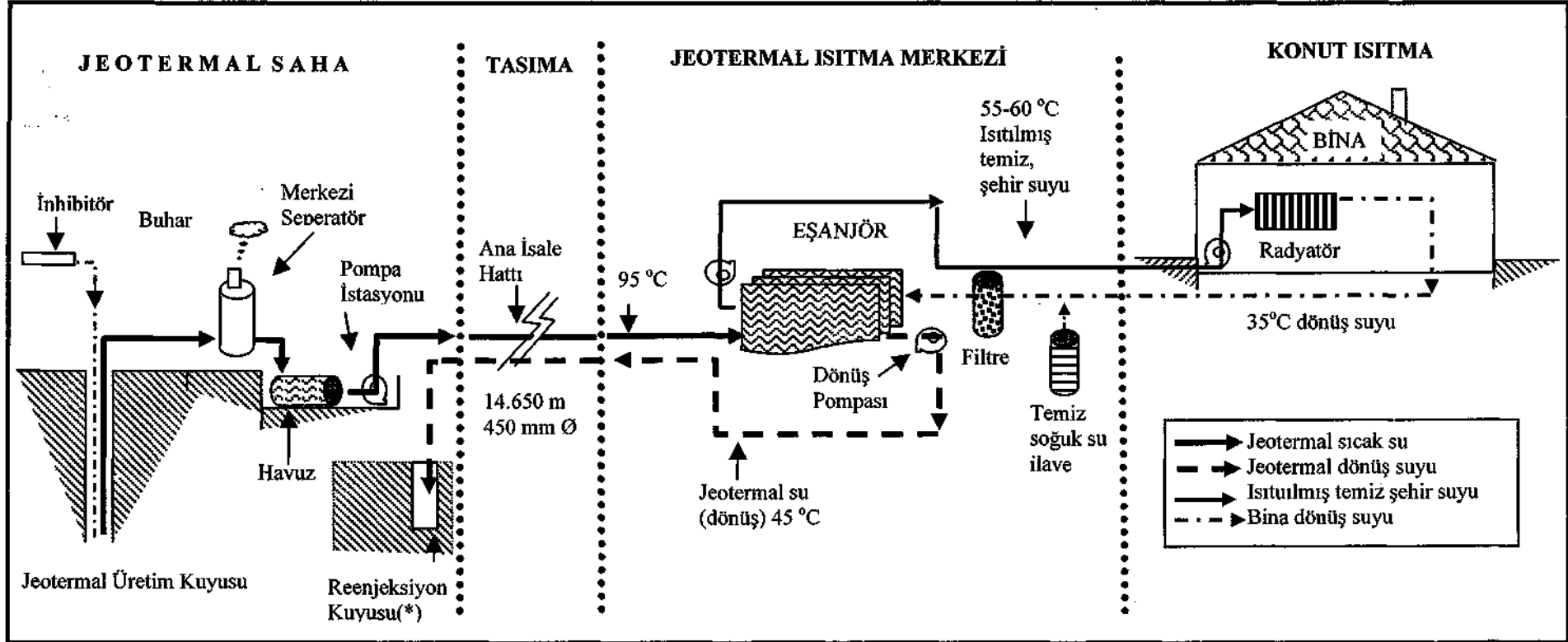
Çizelge 4. Afyon Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi (AFJET)'ne Ait 1998 Yılı İşletme Giderleri.

GİDERLER	MİKTAR (TL)
Elektrik	40.952.017.059,-
İşçilik, Yönetim, Personel	17.302.000.000,-
Kimyasal Madde	24.861.000.000,-
Tamir-Bakım	16.367.000.000,-
Genel	29.222.000.000,-
Amortisman	130.000.000.000,-
<b>TOPLAM</b>	<b>258.704.017.059,-</b>
Toplam AFJET Yıllık Geliri	360.000.000.000,-

fuel-oil deposu, mazot deposu ve açık imbisat deposu vs. konulmamaktadır.

Afyon'da jeotermal merkezi ısıtma sisteminin konut başına toplam tesis maliyeti 1998 yılı sonu rakamlarıyla 240 milyon TL olup, sobalı evlerde bu rakama bina içi tesisat masrafları da ilave edilmektedir. 100 m<sup>2</sup> sobalı bir dairenin doğal gaz dönüşüm maliyeti radyatör ve sayaç dahil 540 milyon TL'yi bulmaktadır. Yatırım giderlerinde görülen bu büyük avantaja ek olarak, jeotermal ısıtmanın maliyeti de diğer fosil yakıtların 1/3'ü ve hatta 1/12'si dolayındadır (Çizelge 5).

Bunun yanı sıra, politik ve ekonomik istikrarsızlıkların fiyatlandırma mekanizmaları üzerindeki olumsuz baskılarından etkilenmemektedir. Çizelge 6'da verilen 1995 yılına ait konut ısıtma maliyetleri Çizelge 5'deki 1998 yılı maliyetleri ile karşılaştırıldığında, yıllar itibariyle ucuzluk sıralamasında görülen değişim, durumu doğrulamaktadır. Jeotermal enerji kullanımının dışa bağımlılığı ve uluslararası bir borsası yoktur. Bu nedenle maliyetinin uluslararası hareketlere bağlı olarak anormal bir şekilde yükselmesi mümkün değildir. Uluslararası siyasetle ilgisinin olmaması da bir diğer önemli avantajıdır. Örneğin Afyon ilinin jeotermal enerji ile ısıtılmasına yönelik fiyat belirlenmesinde tamamen mahalli yöneticilerin yetkili olması, dolayısıyla burada spekülasyon bir kazancın söz konusu olmaması vb. gibi.



(\*)Reenjeksiyon kuyusu, geri dönüş suyunun Akarçay'a bırakıldığı yerde bir fay kırığında 500 metre derinliğinde açılmış olup, halen deneme çalışmaları devam etmektedir.

Şekil 1. Afyon Jeotermal Merkezi Isıtma Sistemi (Kuyu dışı eşanjörlü).

Afyon'da konut ısıtmacılığında jeotermal enerji kullanımının ekonomiye katkısının bir başka yönü, fosil yakıt tüketimindeki azalma ve onun ülke ekonomisine sağladığı parasal katkıdır. Afyon'da kış aylarındaki hava sıcaklığı ortalaması -12°C alınarak Türk Standartları TS 2164(1983)'e göre yapılan ısı hesabında, her 100 m<sup>2</sup> net alanın ısıtılması için 8.484 kCal/saat'Hk bir ısı enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır. Buradan hareketle halen jeotermal enerji ile ısıtılan 3.970 konut ve eşdeğeri 426.099 m<sup>2</sup> konut alan için harcanan enerji;

$$\frac{426099 \times 0.85}{100} = 30.727.700 \text{ kCal/saaf dir.}$$

Bu enerji, saatte yaklaşık 7 ton Tunçbilek kömürünün yakılması ile elde edilen ısı enerjisine eşdeğer bir enerjidir. Konutların 24 saat süreyle ısıtıldığı ve Afyon'da kış sezonunun 6 ay sürdüğü dikkate alındığında, tasarruf edilen kömür miktarı yaklaşık 30.000 ton'dur. Bunun parasal boyutu 1998 yılı sonu rakamlarıyla 660 milyar TL'dir. Aynı şekilde Seyitömer kömürü için bu miktarlar sırasıyla 44.000 ton ve 528 milyar TL'dir.

#### 4.2. Afyon'da Jeotermal Enerji Kullanımının Hava Kirliliğini Önlemedeki Katkısı

Hava kirliliği modern hayatın getirdiği en önemli problemlerden biri olup, kaynağı

yanma olayıdır. Yanma sonucunda enerji ile birlikte bazı katı ve gaz atıkların meydana gelmesi, enerji üretimiyle hava kirliliği arasındaki bilinen ilişkiyi gündeme taşımaktadır. Hava kirliliği problemini oluşturan ise, bu emisyonların, atıldığı atmosferde meydana getirdiği derişim ve buna bağlı olarak da canlı ve cansız varlıklar üzerinde oluşturduğu olumsuz etkidir.

Çevre sorunları ve insan sağlığı açısından en önemli kirleticilerden ikisi, kükürt türevleri (SO<sub>x</sub>) ve partikül madde (PM)'dir. Çizelge 7'den de görüleceği gibi, kükürtoksit emisyonları bakımından birinci derecede önemli yakıtlar, kömür ve fuel-oil olmaktadır. Partikül emisyonu açısından ise en önemli yakıt kömürdür. Doğal gazda SO<sub>x</sub> ve partikül emisyonları ihmal edilebilecek kadar az olup, en önemli kirletici emisyonu olarak azot oksitler görülmektedir.

Jeotermal enerji, sözü edilen geleneksel enerji türleri ile karşılaştırıldığında, sadece ucuz enerji temini açısından değil, çevrecilik yönünden de rakipsizdir. Jeotermal enerjiye dayalı modern elektrik santrallerinde CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub> atımı çok düşük düzeydedir. Merkezi ısıtma sistemlerinde ise, söz konusu gazların deşarj miktarları yaklaşık sıfırdır. Yenilenebilir bir kaynak olan jeotermal enerji, bu yönüyle çevre dostu ve yeşil bir enerjidir.

Çizelge 5. Aralık-1998 Rakamlarına Göre Konut Isıtma Maliyeti.

YAKIT CİNSİ	ISIL DEĞERİ	BİRİM FİYATI	ORTALAMA VERİM	TL/1000 kCal	UCUZLUK SIRASI
Afyon Jeotermal	50.000 kCal/m <sup>3</sup>	48.923,-TL/m <sup>3</sup>	%40	2.446	1
Seyitömer Kömürü	3.000 kCal/kg	12.000,-TL/kg	%50	8.000	2
Tunçbilek Kömürü	4.500 kCal/kg	22.000,-TL/kg	%60	8.184	3
İthal Kömür-Afyon	6.000 kCal/kg	35.000,-TL/kg	%68	8.578	4
Doğal Gaz-Ankara	8.250 kCal/m <sup>3</sup>	68.680,-TL/m <sup>3</sup>	%90	9.250	5
Fuel-Oil (Kalorifer)	9.700 kCal/kg	76.500,-TL/lt	%80	9.858	6
Odun	2.500 kCal/kg	18.000,-TL/kg	%60	12.000	7
Gazyağı	10.400 kCal/kg	143.500,-TL/lt	%84	16.426	8
Motorin	10.200 kCal/kg	142.200,-TL/lt	%84	16.597	9
LPG (12 kg)	11.200 kCal/kg	190.000,-TL/kg	%88	19.278	10
Elektrik	860 kCal/kWh	24.184,-TL/kWh	%99	28.405	11



Çizelge 6. 1995 Rakamlarına Göre Konutlarda Yakıt Fiyatlarının Karşılaştırılması (Yılmaz, 1996).

YAKIT CİNSİ	İSE, DEĞERİ	BİRİM FİYATI	ORTALAMA VERİM	TL/1000 kCal	UCUZLUK SIRASI
Jeotermal Enerji	40.000 kCal/m <sup>2</sup>	13.328,-TL/m <sup>3</sup>	%40	833	1
Doğal Gaz-Ankara	8.250 kCal/m <sup>3</sup>	8.467,-TL/m <sup>3</sup>	%90	1.140	2
Fuel-Oil (Kalorifer)	9.700 kCal/kg	15.433,-TL/kg	%80	1.989	3
İthal Kömür	6.000 kCal/kg	9.200,-TL/kg	%68	2.255	4
Soma Kömürü	5.500 kCal/kg	8.800,-TL/kg	%60	2.666	5
LPG (12 kg)	11.200 kCal/kg	30.416,-TL/kg	%88	3.086	6
Motorin	10.200 kCal/kg	30.326,-TL/kg	%84	3.539	7
Gazyağı	10.400 kCal/kg	36.170,-TL/kg	%84	4.140	8
Odun	2.500 kCal/kg	6.900,-TL/kg	%60	4.600	9
Elektrik	860 kCal/kWh	4.100,-TL/kWh	%99	4.816	10

Çizelge 7. Bir Ton Petrol Eşdeğeri Yakıtların Yanması Sonucu Ortaya Çıkan Emisyon Değerleri (Bilgili, 1997)

YAKIT EMİSYONLARI	KÖMÜR %1 Kükürt, %10 Kül	FUEL-OİL %1 Kükürt	DOĞAL GAZ
Partikül Madde (kg)	100,0	1,8	0,1-0,3
Kükürt Oksitler (kg)	29,2	20,0	-
Karbon Monoksit (kg)	1,5	0,7	0,3
Azot Oksitler (kg)	11,5	8,2	2,3-4,3
Hidrokarbonlar (kg)	1,5	0,1	-

Ülkemizde önemli sayılabilecek bir jeotermal enerji potansiyeline sahip Afyon il merkezinin, hava kirliliği yüksektir. İl, SW yönünde uzanan dağ silsilesi ile N-NE yönünde yer alan tepelikler ile çevrelenmiştir. Bu yönüyle kirliliğin kolayca oluşabileceği yapıya ve meteorolojik şartlara sahiptir. 1998 yılı ortalamalarına göre Afyon'da hakim rüzgar yönü NNW ve rüzgar hızı 2,7 m/sn olarak tespit edilmiştir. Hakim rüzgarların yönü göz önüne alındığında, SW yönünde uzanan dağ silsilesi nedeniyle, yeterli hava akımı sağlanamamakta ve kirli hava kent merkezi üzerinde birikerek hava kirliliğine sebep olmaktadır. Aralık-1998 itibarıyla Afyon'da mevcut konut adedi 35.935 olup, bunun 28.145'i sobalı ve diğer 7.790 adedi de kaloriferli meskenlerdir. Kaloriferli evlerin yarısını jeotermal enerji ile ısıtılan konutlar oluşturmaktadır. Aynı yıl içinde Afyon ilindeki konut, resmi daire ve sanayi kuruluşlarının gereksinimlerini karşılamak amacıyla 50.000 ton fuel-oil (kalorifer yakıtı),

50.000 ton Seyitömer ve 180.000 ton Tunçbilek kömürü, 60.000 ton kaynağı belli olmayan linyit kömürü ve 36.000 ton odun kullanılmıştır (Afyon Çevre Koruma..... 1997).

Afyon'da konut ısıtımında fosil yakıtlara alternatif bir enerji olarak düşünülen jeotermal ısıtma, ilk olarak kirliliğin yoğun olduğu çukur ve apartmanlaşmış bölgelerde başlatılmıştır. Şehrin diğer bölgeleri ile karşılaştırıldığında hava kirliliğinde hissedilebilir ölçüde bir düzleme söz konusudur. Ancak mevcut hava kirliliği Ölçüm yönetmeliklerine uygun olarak şehrin değişik bölgelerinde, bilhassa jeotermal ısıtmalı bölgelerde, emisyon ölçümleri yapılmadığından, bu aşamada bunu gerçekçi rakamlarla yansıtmak imkânı yoktur. Ancak, jeotermal enerji ile ısıtılan mevcut 3.970 konut için harcanan ısı miktarı göz önüne alınarak, bunun eşdeğeri kömürün yakılması durumunda açığa çıkacak SO<sub>x</sub> ve PM emisyon oranlarını belirlemek mümkündür.

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı USEPA (1985)'ya göre; Bu konutların Tunçbilek kömürü ile ısıtılması halinde atmosfere atılacak SO<sub>x</sub> ve PM miktarları:

$$30.000 \cdot 19,5 \cdot 1,27 = 743.000 \text{ kg} = 743 \text{ ton SO}_x$$
$$30.000 \cdot 7,5 \cdot 22 = 4.950.000 \text{ kg} = 4.950 \text{ ton PM}$$

Aynı konutların Seyitömer kömürü ile ısıtılması halinde atmosfere atılacak SO<sub>x</sub> ve PM miktarları:

$$44.000 \cdot 19,5 \cdot 1,21 = 1.038.180 \text{ kg} = 1.038 \text{ ton SO}_x$$
$$44.000 \cdot 7,5 \cdot 15,41 = 5.085.300 \text{ kg} = 5.085 \text{ ton PM}$$

Afyon örneğinden elde edilen bu sonuçlar, jeotermal ısınma ile binlerce ton SO<sub>x</sub> ve PM emisyonunun önlendiğini ve jeotermal enerjinin sadece ucuz bir alternatif enerji kaynağı olmayıp aynı zamanda çevre dostu bir enerji olduğunu da göstermektedir.

## 5. SONUÇLAR

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi yıllık raporuna göre, 1998 yılı itibariyle Türkiye'nin toplam enerji talebi 77.301.000 ton TEP (ham petrol eşdeğeri-ton) civarındadır. Türkiye bu talebin halen %62'sini dış kaynaklardan karşılamaktadır. Türkiye ekonomisinin ve nüfusunun hızla büyüdüğü göz önüne alındığında 2000 yılında bu talebin 91.030.000 TEP'e, 2010 yılında 175.074.000 TEP'e ve 2020 yılında ise 314.400.000 TEP'e ulaşması beklenmektedir. Türkiye artan bu talebin ancak, %30'unu birincil enerji kaynaklarından karşılayabilecek durumdadır. Türkiye bugün olduğu gibi önümüzdeki yıllarda da artan enerji talebini karşılayabilmek için alternatif enerji kaynaklarına yönelmek ve doğal kaynaklarını teknik, ekonomik, sosyal, politik ve çevresel etkileri birarada düşünerek en iyi şekilde değerlendirmek zorundadır. Bunlar, yenilenebilir ana enerji kaynaklarımızdır.

Alternatif enerji kaynakları içinde en önemlisi hiç kuşkusuz jeotermal enerjidir. Türkiye jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyada yedinci sırada bulunmaktadır. Türkiye'de 140 jeotermal enerji sahası bulunmasına rağmen henüz birkaçı dışında büyük bir kısmı devreye sokulamamıştır ve bu enerjinin ancak %0,9'dan yararlanabilmektedir.

Bugün için jeotermal enerji, dünyada enerji sektöründe sadece %0,2'lik bir paya sahiptir. Ancak, ülkelere göre bu oran büyük ölçüde değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin Filipinler'de jeotermal santraller, toplam kapasitenin %17'sini oluşturmaktadır.

Bugün dünyada jeotermal enerjiye dayalı elektrik üretimi kurulu güç kapasitesi, 1998 yılı rakamlarıyla 8.600 MWe'ye ve ısıtma amaçlı doğrudan kullanımda ise 1997 yılı verilerine göre 11.300 MWt'a ulaşmıştır.

Türkiye jeotermal enerji potansiyelinin yaklaşık %95'i ısıtmaya uygun sahalardan oluşmaktadır. MTA verilerine göre ısıtma amaçlı bu potansiyelin gücü yaklaşık 31.500 MWt civarındadır. Bununla ülkemizde 5 milyon konutu rahatlıkla ısıtmak mümkün olabilmektedir. Günümüzde ülkemizin ısıtma amaçlı kurulu güç kapasitesi 200 MWt olup, bununla halen yaklaşık 30.000 konut ısıtılmaktadır.

Kısa adı AFJET olan Afyon Jeotermal Isıtmanın proje hedefi, kurulu güç olan 10.000 konutun ısıtılmasıdır. 1996 yılında işletmeye alınan jeotermal ısıtma sistemi ile halen 3.970 konut ısıtılmakta olup, ısıtılan alan miktarı 426.099 m<sup>2</sup>'dir.

Jeotermal enerjide üretim maliyeti, diğer enerji kaynaklarına göre (özellikle fosil yakıtlara göre) çok daha düşük değerdedir. 1998 yılı sonu itibariyle toplam yatırım maliyeti 1.300 milyar TL olan Afyon Jeotermal Isıtma Sistemine ait önemli maliyet unsurları, amortisman için ayrılan %50,25'lik payın dışında, sırasıyla; elektrik enerjisi %15,83,

kimyasal madde, bakım ve genel giderler %27,23, işçilik, yönetim ve personel giderleri %6,69'dur. Bu maliyet unsurları dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda jeotermal enerjinin birim fiyatı 48.923 TL/m<sup>3</sup> ve 1.000 kCal için ödenen miktar ise 2.446 TL olarak belirlenmiştir. Aboneler ısınma bedeli olarak halen m<sup>2</sup> basma KDV dahil 6600 TL ödemektedirler.

Afyon'da her 100 m net alanın ısıtılması için gerekli olan ısı ihtiyacı 8.484 kCal/saat olup jeotermal enerji ile ısıtılan 3.970 konut ve eşdeğeri 426.099 m konut alanı için harcanan enerji 30.727.700 kCal/saat'dır. Bu enerji, saatte yaklaşık 7 ton Tunçbilek kömürünün yakılması ile elde edilen ısı enerjisine eşdeğer bir enerji olup, bir yıl içinde tasarruf edilen kömür miktarı (Tunçbilek kömürü) yaklaşık 30.000 ton'dur. Bunun parasal boyutu 1998 yılı sonu rakamlarıyla 660 milyar TL'dir. Aynı şekilde Seyitömer kömürü için bu miktarlar sırasıyla 44.000 ton ve 528 milyar TL'dir.

Konut ısıtımında fosil yakıtlara alternatif bir enerji olarak düşünülen Afyon Jeotermal Isıtma, ilk olarak kirliliğin yoğun olduğu çukur ve apartmanlaşmış bölgelerde başlatılmıştır. Şehrin diğer bölgeleri ile karşılaştırıldığında hava kirliliğinde hissedilebilir ölçüde bir düzelme söz konusudur. Ancak mevcut hava kirliliği ölçüm yönetmeliklerine uygun olarak şehrin değişik bölgelerinde, bilhassa jeotermal ısıtmalı bölgelerde, emisyon ölçümleri yapılmadığından halihazırda bunu gerçekçi rakamlarla yansıtmaya imkânı yoktur. Ancak, jeotermal enerji ile ısıtılan mevcut 3.970 konut için harcanan ısı miktarı göz önüne alınarak, bunun eşdeğeri kömürün yakılması durumunda açığa çıkacak SO<sub>x</sub> ve PM emisyon oranları; bu konutların Tunçbilek kömürü ile ısıtılması halinde 743 ton SO<sub>x</sub> ve 4.950 ton PM, Seyitömer kömürü ile ısıtılması halinde ise 1.038 ton SO<sub>x</sub> ve 5.085 ton PM'dir. Afyon örneğinden elde edilen bu sonuçlar, jeotermal ısınma ile binlerce ton SO<sub>x</sub> ve PM emisyonunun önlendiğini ve jeotermal

enerjinin sadece ucuz bir alternatif enerji kaynağı olmayıp aynı zamanda çevre dostu bir enerji olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak; Jeotermal enerji; ucuz, yenilenebilir ve çevre dostu olması özellikleriyle geleceğin enerjisidir.

## KATKI BELİRTME

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı AFJET A.Ş. Genel Müdürü Sayın Cahit SERTESER ve Afyon Çevre Koruma Vakfı Müdürlüğü yetkililerine teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

Bilgili, S., 1997; "Enerji Çevre İlişkisinde Kojenerasyonun Yeri", Doğal Gaz Uluslararası Enerji, Teknoloji ve Tesisat Dergisi, Sayı 49, s. 82-88.

BP Amoco Statistical Review of World Energy, Haziran 1999;

DPT, 1996; "Jeotermal Enerji", Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Jeotermal Enerji Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 54 s.

Karabuğa, T., 1999; Kişisel görüşme, AFJET A.Ş. İşletme Müdürü, Afyon.

Kayın, S., 1998; "Kömür Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü", Kömür; Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, Ed. Orhan Kural, İstanbul, s. 651-667.

Koç, T., 1996; "Jeotermal Enerji ile Afyon Şehrinin Isıtılması Projesinde Kullanılan Jeotermal Suyun Çevre Etkileri Yönünden İncelenmesi", Erciyes Üniversitesi Yozgat Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Yozgat.

Mertoğlu, O; Mertoğlu, F.M. ve Başarır, N., 1994; "The Experience on Preventing Scaling and Corrossion Problems and Their Contribution to Geothermal Development in Turkey", Geothermics 94 in Europa, International Symposium, Orléans-France, s. 497-503.

Mertoğlu, O. ve Başarır, N., 1995; "Geothermal Utilisation and Applications in Turkey", Proceedings of the World Geothermal Congress, Cilt 1, Florence-Italy, s. 345-349.

Mertoğlu, O., 1995; "Orme Jeotermal Başkam Orhan Mertoğlu ile Jeotermal Enerji Hakkında Söyleşi", Termodinamik; Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yalıtma ve Gaz Teknolojisi Aylık Bilimsel Sektör Dergisi, Yıl 4, Sayı 39, s.81-84.

Mertoğlu, O., 1997; "Performances of Low Temperature Geothermal District Heating Systems", International Course on Geothermal District Heating Schemes, Ankara-Skopje, s. 1-6.

Tuncali, E., 1998; "I. Enerji Sempozyumu Ardından", TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Bülteni, Sayı 98/4, Ankara, s. 32-40.

Türk Standartları, 1983; "Kalorifer Tesisatı Projelendirme Kuralları", TS 2164, Ankara.

US Environmental Protection Agency, 1985; "Compilation of Air Pollutant Emission Factors", Stationary Point and Area Sources, Fourth Edition, Research Triangle Park, Cilt 1, North Carolina.

Yılmaz, N., 1996; "Jeotermal Enerji; Yerin Altındaki Fırsat" Araştırma-Yazı Dizisi, Yeni Asır Gazetesi-4 Ekim Nüshası.

....., 1998; "İhtiyaç Katlanarak Artıyor", Milliyet Gazetesi Ekonomi Sayfası, 1 Kasım Nüshası.

....., 1999; "Ucuz Isınma, Temiz Hava İçin; Jeotermal Merkezi Isıtmanın Dünyada ve Türkiye'deki Durumu ve Ekonomisi", ORME Jeotermal Mühendislik, Sanayi ve Ticaret A.Ş. Yayını, Ankara, s. 2-3.

.....1997; "Bilgi Formu" Afyon Valiliği Çevre Koruma Vakfı, Afyon, Afyon Çevre Koruma Vakfı.