

# Jeotermal Buhar Enjektörlü Soğutma Sistemi Tersinmezliklerinin İncelenmesi

İbrahim ÜÇGÜL\*  
Mustafa ACAR\*\*  
Tansel KOYUN\*\*

## Özet

Bu çalışmada önce jeotermal enerji ve kullanım alanları, ardından buhar jetli soğutma sistemleri tanıtılmış ve sistemin çalışması termodinamik olarak açıklanmıştır. Termodinamiğin I. yasasından yararlanarak sistem performansı, II. yasasından yararlanarak ta sistem ekserjetik performansı incelenmiştir. Bu sistemde Denizli-Kızıldere jeotermal buharı ( $P=4,5$  bar) kullanılmıştır. Hesaplamalarda jeneratör sıcaklığının 70, 100 ve 130 °C değerleri alınarak ve yoğuşturucu sıcaklığı ( $t_c=35$ °C) sabit alınarak, buharlaştırıcı sıcaklığının değişik değerleri için ( $t_e=10-15$ °C) sistem performansı (COP) ve sistem ekserjetik performansı (COPEX) ortaya konmuştur.

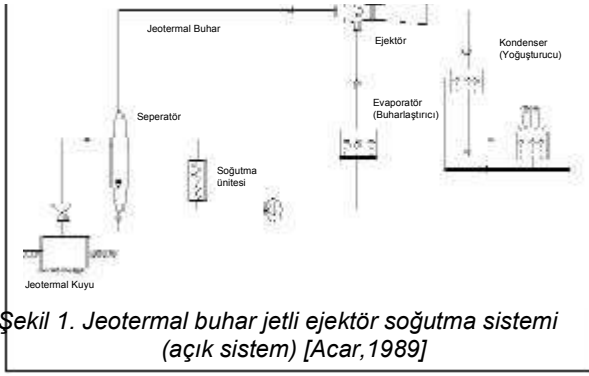
## 1. GİRİŞ

Jeotermal enerji, yer kabuğunun işletilebilir derinliklerinde, olağandışı bir şekilde birikmiş bulunan ısının oluşturduğu bir enerji türüdür. Bu enerji yeryüzüne doğal olarak veya sondajlarla sıcak su veya buhar şeklinde ulaşabilmektedir. Böylece doğrudan doğruya ısı enerjisi olarak kullanılabilirdiği gibi elektrik ve diğer enerji türlerine dönüştürülerek değerlendirilebilmektedir [Şamilgil,1992]. Yerkürenin sıcak su, ıslak buhar veya kuru buhar halinde bize sunduğu jeotermal akışkanın taşıdığı enerjinin ısıtma, soğutma, kurutma, elektrik üretimi v.b. alanlarda kullanılmasına jeotermal enerji uygulamaları denir. Jeotermal kaynakların sınıflandırılması jeotermal akışkanın kuyubaşı sıcaklığına göre yapılmakta, sıcaklığı 90 °C'ye kadar olanlara "düşük entalpili kaynaklar", 90-150 °C arasında olanlara "orta entalpili kaynaklar" ve 150 °C'dan yüksek olanlara da "yüksek entalpili kaynaklar" adı verilmektedir.

Türkiye'de bilinen 170 jeotermal sahanın %95'i

düşük veya orta entalpilidir [Yeşin,2003]. Düşük ve orta entalpili kaynaklar genel olarak ısıtma, soğutma yüksek entalpili kaynaklar ise elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır [Külünk,1983].

Jeotermal akışkanda mevcut bulunan ısı enerjisi yardımıyla, soğutma uygulamaları teorik olarak pek çok şekilde yapılabilse de, uygulamada genel olarak, absorpsiyonlu, adsorpsiyonlu ve ejektörlü soğutma sistemleri günümüzde ön plana çıkmıştır. Özellikle iklimlendirme sistemlerine uygun olan ejektörlü soğutma sistemi, suyu soğutken olarak kullanan sıkıştırılmalı bir soğutma makinesidir. Su buharı, buharlaşma gizli ısısının büyük, sıvı özgül ısısının küçük olması nedeniyle iyi bir soğutucu akışkandır. Ancak düşük buharlaşma sıcaklıklarında su buharının özgül hacmi çok büyüktür. Bu nedenle, soğutma devresinde sıkıştırma işi için buhar ejektörü kullanılır. Buhar ejektörlü soğutma sistemi, buharlaştırıcıdan vakumla çekilen soğuk buharı bir buhar jeti

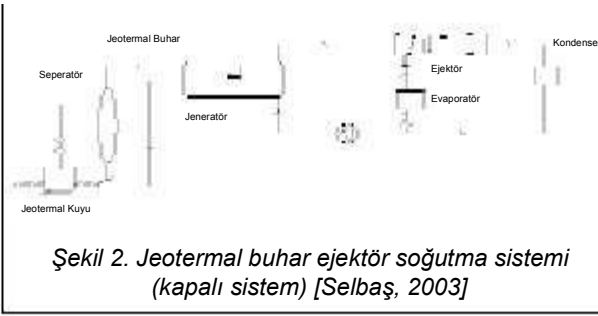


Şekil 1. Jeotermal buhar jetli ejektör soğutma sistemi (açık sistem) [Acar, 1989]

(tahrik buharı) ile ejektörde sıkıştırılarak bir kondensere gönderilip yoğuşturulması ilkesine göre çalışır. Bu tip buharlaştırma sistemlerinde buharlaşma sıcaklığı 0°C'nin üzerinde bulunmaktadır[4]. Jeotermal enerjili, buhar ejektörlü soğutma sistemi iki şekilde gerçekleştirilebilir. Bunlardan ilki Şekil 1'de gösterilen "yüksek entalpili kaynaklardan" elde edilen buharın direkt ejektöre gönderildiği açık sistemler ve diğeri ise Şekil 2'de gösterilen "orta ve düşük entalpili kaynaktan" elde edilen buharın, atmosferaltı basınçta çalışan ikincil bir buhar-ejektör sisteminin jeneratör ısısını karşılamakta kullanılması yöntemidir. Bu çalışmada ikinci yöntem irdelenmiştir.

## 2. EJEKTÖR SİSTEMİNDE TERMODİNAMİK SÜREÇ VE HESAPLAR

Şekil 2'de gösterilen jeotermal buhar ejektör sistemi, jeotermal kaynaktan jeneratörde buhar üretim alt sistemi ve buna bağlı olarak ejektörlü soğutma alt sisteminden oluşmaktadır. Soğutma sistemi atmosferik basınç altında çalışan buhar jeneratörü, soğutma yükünü karşılayan bir evaporatör ve kondenserden oluşmaktadır. Jeotermal kaynaktan gelen ısı, buhar jeneratöründe  $T_g$  ve  $P_g$  şartlarında doymuş buhar, buhar üretimini gerçekleştirir. Jeneratörde üretilen buhar, ejektör içerisinde yüksek hızla geçirildiğinde buna bağlı bulunan evaporatör içerisinde vakum oluşmakta ve alçak basınçta ( $P_e$ ) buharlaşma meydana gelerek evaporatör içerisindeki suyun sıcaklığının  $T_c$  değerine düşmesine neden olmaktadır. Evapora-



Şekil 2. Jeotermal buhar ejektör soğutma sistemi (kapalı sistem) [Selbaş, 2003]

törde oluşan  $P_e$  basıncındaki buhar ile jeneratörden gelen buhar, ejektörde karışarak  $T_c$  ve  $P_c$  şartlarındaki kondensere girmektedir. Kondenserde yoğuşma için atılması gereken ısı, ortam havası kullanılarak sistemden dışarı atılmakta ve kondenserde yoğuşan su ise çevrimi tamamlamak amacıyla evaporatör ve jeneratöre yeniden gönderilerek çevrim tamamlanmaktadır[5]. İklimlendirme uygulamaları için ejektör sisteminde su kullanılabilir. Ancak çok düşük sıcaklıklı soğutma uygulamaları için ejektörlü sistemde değişik soğutucu akışkanlar rahatlıkla kullanılabilir.

Şekil 2'de verilen, buhar ejektör soğutma sisteminin termodinamik modelin noktaları görülmektedir. Kararlı halde sistem bileşenlerinin temel denklemleri aşağıdaki gibidir.

Jeneratöre verilmesi gereken ısı ( $\dot{Q}_g$ ):

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_g (h_g'' - h_c')$$

Burada sırasıyla g, e, ve c; jeneratör, evaporatör ve kondenseri göstermektedir.

Evaporatörden çekilen ısı ( $\dot{Q}_e$ ):

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_e (h_e'' - h_e')$$

Kondenserden çevreye atılan ısı ( $\dot{Q}_c$ ):

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c (h_c'' - h_c')$$

Enerji dengesi:

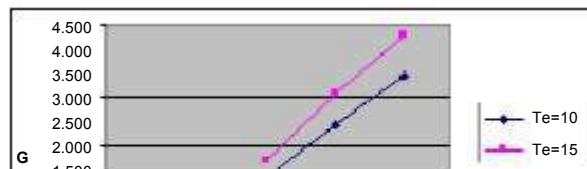
$$\dot{m}_g h_g'' + \dot{m}_e h_e'' = \dot{m}_c h_c'$$

Kütle dengesi:

$$\dot{m}_c = \dot{m}_g + \dot{m}_e$$

Buhar oranı (G)

$$\dot{m}_g = \dot{m}_c \left( \frac{h_c'' - h_e''}{h_g'' - h_e''} \right)$$



$$G = \frac{\dot{m}_e}{\dot{m}_g} = \frac{h_g - h_c}{h_c'' - h_e''} \text{ olmak üzere ;}$$

sistemin soğutma performans katsayısı (COP):

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{Q}_g} = G \frac{(h_e'' - h_c')}{(h_g'' - h_c')} \text{ dir.}$$

Termomekanik ekserji

$$\dot{E} = \dot{m}(h - h_0 - T_0(s - s_0)) \text{ olmak üzere;}$$

Sistemin ekserjetik performans katsayısı (COPEX)

$$\text{COPEX} = \frac{\dot{E}_e}{\dot{E}_g} \text{ den hesaplanır.}$$

İklimlendirme sistemi için örnek bir uygulama: Jeotermal buhar kullanan bir buhar ejektör jet soğutma sistemi aşağıda özellikleri verilen iklimlendirme sistemine uygulanmıştır.

Soğutma yükü =  $\dot{Q}_e = 500 \text{ kW}$

Evaporatör sıcaklıklar =  $T_e = 10\text{-}15 \text{ }^\circ\text{C}$

Kondensasyon sıcaklığı =  $T_c = 35 \text{ }^\circ\text{C}$

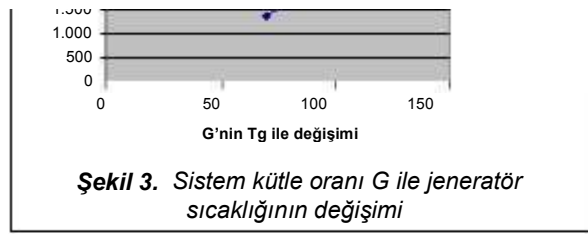
Ejektör sistemi jeneratör sıcaklıkları  $T_g = 70, 100, 130 \text{ }^\circ\text{C}$

Jeotermal buhar basıncı 4,5 bar ( $T = 147,87 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

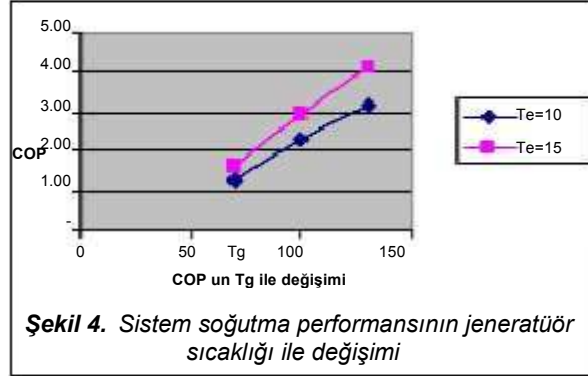
Bu değerler için sistem kütle oranları G Şekil 3'te, sistem soğutma (COP) ve ekserjetik performansı (COPEX) değerleri Şekil 4 ve 5'te diyagram halinde görülmektedir.

### 3. SONUÇ

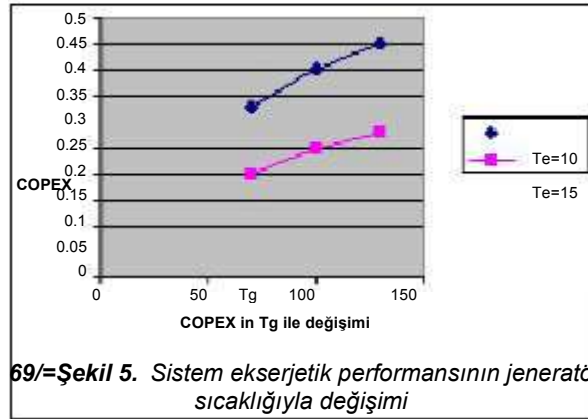
İklimlendirme için kullanılan jeotermal ısı kaynaklı buhar ejektörlü soğutma sistemi verilen şartlarda, Şekil 3 ve 4'te görüldüğü gibi kütle oranı G ve sistem performans katsayısı COP, artan  $T_g$  ve  $T_e$  sıcaklıklarıyla artış göstermektedir.



Şekil 3. Sistem kütle oranı G ile jeneratör sıcaklığının değişimi



Şekil 4. Sistem soğutma performansının jeneratör sıcaklığı ile değişimi



Şekil 5. Sistem ekserjetik performansının jeneratör sıcaklığıyla değişimi

Ekserjetik performans katsayısı ise artan jeneratör sıcaklığıyla ( $T_g$ ) artış göstermekte, artan  $T_e$  ile azalma göstermektedir. Bu durum termodinamiğin II. yasasının doğal bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır önerilen sistem ülkemizdeki düşük ve yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynaklar için uygun çözümler getirmektedir. Ayrıca, kapalı çevrim içinde farklı soğutucu akışkanlar kullanılarak düşük sıcaklıklı soğutma uygulamaları için de sistem uygundur.

### 4. KAYNAKLAR

- Acar, M., Mart 1989, Jeotermal Buhar Ejektörlü Soğutma Sistemlerinin Uygulanabilirliği, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt 12, Sayı 1, Sayı 262, İstanbul, fa 31-35.
- Külünk, H, Eyice, S., 1983 Yeni Enerji Kaynakları, Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 3-5 Eylül 2003 Süleyman Demirel Üniversitesi-Türk Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, İstanbul.
- Selbaş, R., Üçgül, İ., Şencan, A., Kızıllan, Ö., 2004 Haziran 2004, Güneş Enerjisi Dergisi, Mersin.
- Şamilgil, E., Jeotermal Enerji, 1992, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kocaeli Mühendislik Fakültesi, İstanbul.
- Yeşin, O., Türkiye'de Jeotermal Enerji Uygulamaları, 2003, Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 3-5 Eylül 2003 Süleyman Demirel Üniversitesi-Türk Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, İstanbul.

U., 20-21 Haziran 2003 , Guneş Enerjisi  
Destekli Buhar-Jet Soğutma Sisteminin İklim-  
lendirmede Uygulanabilirliğinin Araştırılması,  
Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve

Derneği, Isparta.