

Jeotermal Bölge Isıtma Sistemlerinde Kojenerasyon Çevrimi ile Güç Üretilmesinin Uygulanabilirliği - Balçova Örneği

Serhan KÜÇÜKA*
Tahsin BAŞARAN**

Özet

Jeotermal bölge ısıtmalarında, ısıtma amacı ile kullanılan suyun dağıtım sıcaklığı; uygulamalarda 70 - 85°C aralığında olmaktadır. Böylece, görece yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynağın termodinamik kullanılabilirliğinin önemli bir kısmı, düşük sıcaklıktaki dolaşım suyunun ısıtılması sırasında yitirilmiştir. Buna karşılık, akışkanın yüksek termodinamik potansiyelinin; önce güç üretiminde, sonrasında ısıtma amacı ile kullanılmasıyla, ısıtma kapasitesi önemli ölçüde azaltılmadan, güç üretilmesi olanaklıdır. Bu çalışmada, Balçova bölge ısıtma sisteminin verileri esas alınarak, karşı basınçlı ve yoğuşturucu çıkışlı buhar çevrimleri ile güç üretiminin olabirliği ve bu üretimin bölge ısıtma sistemi kapasitesine etkisi analiz edilmiştir.

1. GİRİŞ

Yurdumuzda bölge ısıtmasında kullanılan jeotermal kaynaklar, bazı bölgelerde 130°C üzerinde sıcaklıklara ulaşmaktadır. Kurulmuş olan bölge ısıtma sistemlerinde, jeotermal suyun enerjisi bir ısı değiştirgecinde temiz suya aktarılmakta ve 70°C - 85°C sıcaklıktaki temiz su, dolaşım suyu olarak bölgeye gönderilmektedir [1]. Bu durum, jeotermal kaynağın termodinamik kullanılabilirliğinin önemli bir kısmının, düşük sıcaklıktaki dolaşım suyunun ısıtılması sırasında yitirildiği anlamına gelmektedir.

Diğer yandan, jeotermal kaynakların elektriksel güç üretiminde kullanılması dünyada yaygın bir

uygulamadır. Güç üretimi için uygulanan başlıca iki yöntemden birisi, jeotermal akışkandan elde edilen su buharının doğrudan türbine gönderilmesidir. Diğer yöntemde ise, jeotermal akışkan, ikincil bir akışkanın kullanıldığı kapalı bir güç çevrimine ısı vermek için kullanılmaktadır. Kaynak sıcaklıklarına bağlı olarak, yukarıda bahsedilen iki yöntemin birarada kullanılması da olanaklıdır [2]. Jeotermal kaynaklardan güç üretiminin genellikle 150°C ve üzerindeki kaynak sıcaklığında yaygın olarak kullanılmasına karşın, daha düşük sıcaklıklardaki kaynaklar için de başarılı uygulamalar yapılmıştır. Örnek olarak, İtalya'da kurulu 700 kW gücündeki Travale 21 ikincil çevrim ünitesinde, 115°C sıcaklıkta jeotermal akışkan

* Yrd. Doç. Dr., DEÜ Makina Mühendisliği Bölümü.

** Arş. Gör., DEÜ Makina Mühendisliği Bölümü.

ünitesinde bırakarak çıkan jeotermal akışkan, daha sonra sera ısıtılmasında değerlendirilmektedir [3]. Düşük sıcaklıklı sahaların elektrik üretimi için deneme amaçlı kurulan 400 kW gücünde diğer bir ikincil çevrim tesisinde ise, jeotermal su santrale 130°C sıcaklığında girmektedir ve 106°C sıcaklığında çıkmaktadır [4]. Jeotermal akışkandan elde edilen su buharının doğrudan kullanıldığı Japonya Kirishima Otel uygulamasında ise, buhar türbine 133°C sıcaklık ve 23 ton/saat debi ile gönderilmektedir. Jeotermal akışkan %2 oranında yoğuşmayan gaz içermekte olup, yoğuşmayan gazların türbin çıkış kondenserinden uzaklaştırılması için vakum kompresörü kullanılmıştır [3].

Türbin akışkanı olarak su buharının kullanıldığı uygulamalarda, yüksek basınç altında ve sıvı fazda üretilen jeotermal akışkanın basıncı düşürülerek su ve buhar fazlarına ayrılmakta ve elde edilen buhar türbine gönderilmektedir. Ancak ayırıcıdan çıkan sıvı fazın ekserjisinden yararlanılması nedeniyle bu sistemlerin verimi düşüktür. 150°C altındaki sıcaklıklarda ise, çevrim akışkanı olarak bir organik akışkanın kullanıldığı ikincil (binary) güç santralleri, elektrik üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Jeotermal akışkanın ikincil akışkana ısı aktarmak amacıyla kullanıldığı bu santraller, genellikle hava soğutmalı paket sistemler halinde inşa edilmektedir. İkincil çevrim santrallerinin verimi, su buharı kullanılan sistemlere göre biraz daha yüksek olmasına karşın, birim güç başına ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Ancak, her durumda, düşük çalışma sıcaklıkları nedeniyle, jeotermal bir santralın güç üretim verimi düşük ve ilk yatırım maliyeti kömür veya doğal gaz gibi geleneksel yakıtlı bir santralden yüksek olmaktadır. Bu nedenle, jeotermal enerjinin, konut ısıtması veya kurutma gibi doğrudan ısı kullanımlı uygulamalarda kullanılması, daha akılcı bir çözüm olacaktır.

Buna karşın, akışkanın yüksek termodinamik potansiyelinin önce güç üretiminde kullanılıp, daha sonra ısıtma amaçlı bir kojenerasyon çevriminde kullanılmasıyla, ısıtma kapasitesi önemli ölçüde azaltılmadan güç eldesi mümkündür. Bu çalışmada, Balçova bölge ısıtma sisteminin verileri esas alınarak, karşı basınçlı ve yoğuşturucu çıkışlı buhar çevrimleri ile güç üretiminin olasılığı ve bu üretimin bölge ısıtma sistemi kapasitesine etkisi incelenmiştir.

2. BALÇOVA JEOTERMAL BÖLGE ISITMA SİSTEMİ

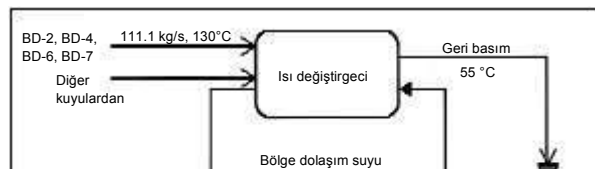
Bölgede üretim kuyusu olarak kullanılmakta olan sekiz kuyudan; üretim sıcaklığı 83°C - 135°C aralığında jeotermal akışkan elde edilmektedir (Tablo 1). Üretilen akışkan içindeki yoğuşmayan gaz oranı oldukça düşüktür. Bölge ısıtma sisteminde dolaşan suyun gidiş sıcaklığı, plaka tipi ısı değiştirgeçlerinde, jeotermal su yardımıyla 80°C - 90°C aralığına ısıtılmaktadır. Dönüş sıcaklık aralığı ise 42°C - 60°C'dir. Böylece 6631 konut ile birlikte 2 otel ve 2 üniversiteye ait muhtelif yapıların ısı yükleri karşılanmaktadır [5].

Tablo 1'den, diğerlerine göre yüksek sıcaklıkta olan dört adet kuyunun (BD-2, BD-4, BD-6 ve BD-7) toplam üretimi 391 m³/h ve ortalama üretim sıcaklığı 130°C olarak hesaplanmaktadır. Tablo 1'de belirtilenler dışında kuyu açma çalışmaları devam etmektedir. Sonuç olarak bölgenin 130°C ortalama sıcaklıktaki üretim kapasitesinin 400 m³/h (111.1 kg/s) olduğu kabul edilmiştir (Şekil 1).

Diğer taraftan, Balçova jeotermal bölge ısıtma sistemi işletme giderleri içinde elektrik tüketimi payının, 2000 yılı içinde, yaklaşık %50 olduğu belirtilmiştir [6]. Elektrik tüketiminin ana kalemleri kuyu içi pompaları ile şehir dolaşım pompaları

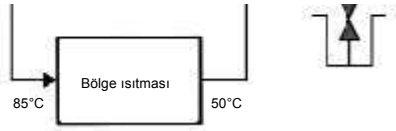
Tablo 1. Balçova jeotermal bölgesinde işletmedeki kuyular.

BD-2		BD-4		BD-6		BD-7		B-4		B-5		B-10		B-11	
Debi [m ³ /h]	T [°C]	Debi [m ³ /h]	T [°C]	Debi [m ³ /h]	T [°C]	Debi [m ³ /h]	T [°C]	Debi [m ³ /h]	T [°C]	Debi [m ³ /h]	T [°C]	Debi [m ³ /h]	T [°C]	Debi [m ³ /h]	T [°C]
75	128.1	135	135.2	100	135.3	81	116.7	36	83.1	140	98.3	101	92.2	23	92



nedeniyle, burada doğrudan jeotermal akışkandan üretilen su buharının kullanıldığı ayırma buharlı sistemler incelenmiştir.

3.1. Karşı Basınçlı Türbin Kullanımı



Şekil 1. Balçova jeotermal bölge ısıtma sisteminin genel şeması.

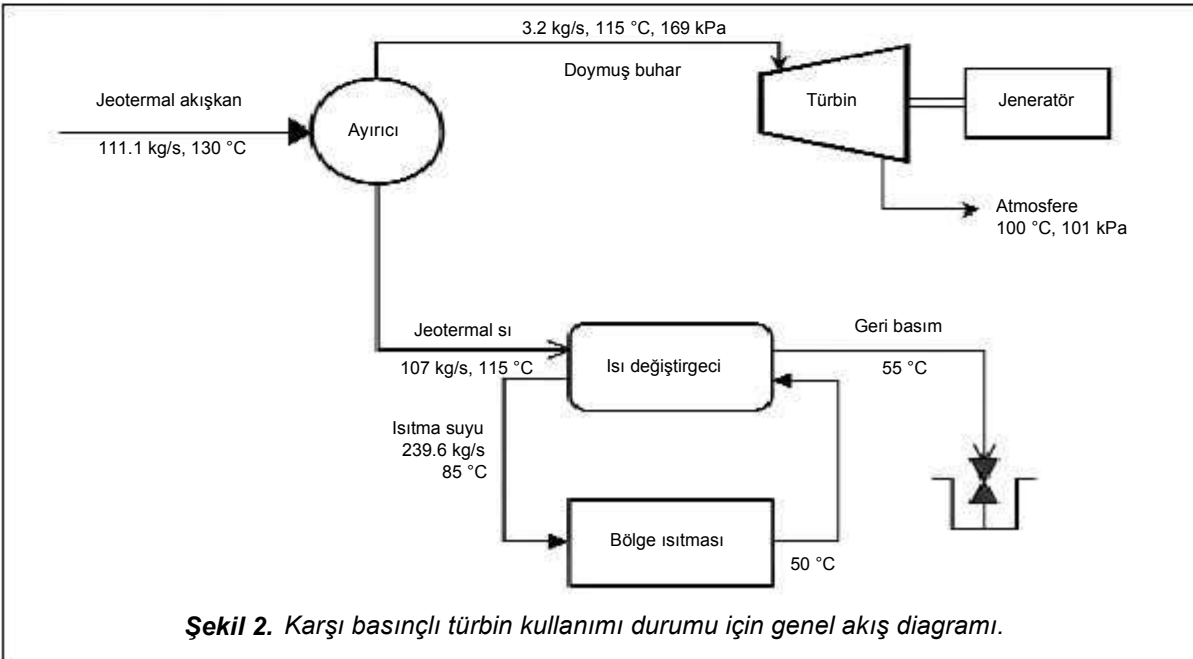
dir. Bu çalışmada, yüksek sıcaklıktaki kuyuların üretiminden yararlanarak, Balçova jeotermal bölge ısıtma sisteminin elektrik tüketimini kendi içinde karşılayabilecek; alternatif bir güç üretim tesisinin olabilirliği araştırılmıştır.

3. ELEKTRİK ÜRETİMİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

Jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi için kullanılan iki yöntemden biri, jeotermal akışkanın basıncının düşürülerek sıvı ve buhar fazlarına ayrılması ve buhar fazın türbinde güç üretiminde kullanılmasıdır. İkincil çevrim olarak tanımlanan diğer yöntemde ise, jeotermal akışkanın ısıyı yardımcı bir akışkana aktarılmakta ve yardımcı akışkan bir güç çevriminde kullanılmaktadır. Daha basit yapısı ve düşük ilk yatırım maliyetleri

Su buharı kullanılan en basit yapılı santraller, türbin çıkış buharının atmosfere bırakıldığı karşı basınçlı türbin kullanılan sistemlerdir (Şekil 2). Ayırıcı tankında, yüksek sıcaklık ve basınçta üretilen jeotermal akışkanın basıncı düşürülmekte ve sıvı ve buhar fazları ayrılmaktadır. Üretilen buhar türbinde atmosfer basıncının hemen üzerine kadar genişletilerek güç üretiminde kullanılmaktadır. Sıvı fazda kalan jeotermal akışkan ise, ısıtma amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Balçova jeotermal sistemi için yapılan incelemede, yüksek sıcaklıktaki BD-2, BD-4, BD-6 ve BD-7 kuyularının değerleri göz önüne alınarak, orta lama üretim sıcaklığının 130 °C, üretim debisinin ise 111.1 kg/s olduğu durum incelenmiştir. Türbin girişi ayırıcı basıncında ve çıkışı ise standart atmosfer basıncında alınmış ve türbin adyabatik verimi %75 kabul edilerek türbin gücü hesaplanmıştır. Jeotermal suyun enerjisinden 55°C sıcaklığa kadar yararlanıldığı düşünülerek, ayırıcıda çekilen buhar nedeni ile ısıtma kapasitesinde olan kayıp ayrıca hesaplanmıştır. Ayırıcı sıcaklığına (basıncına) bağlı olarak üretilen buhar mik-



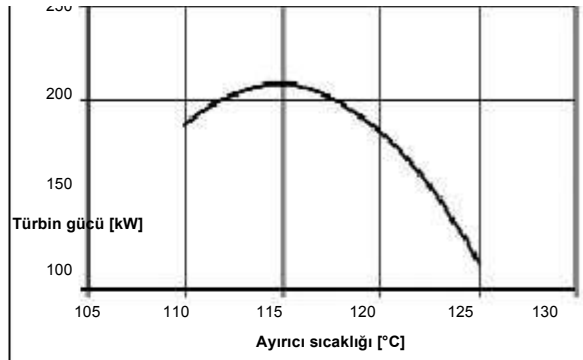
Şekil 2. Karşı basınçlı türbin kullanımı durumu için genel akış diagramı.

Tablo 2. Buharın özelliklerinin, türbin gücünün ve ısıtma kapasitesinin değişimi.

Ayırıcı basıncı ve sıcaklığı	Üretilen buhar miktarı [kg/s]kuruluk derecesi	Türbin çıkış	Türbin gücü [kW]	Isıtma gücünün azalması [kW]
143 kPa, 110°C	4.235	0.987	186.7	10424
169 kPa, 115°C	3.2	0.981	208.6	7899
198 kPa, 120°C	2.15	0.975	184.2	5321

verilmiş ve türbin gücünün değişimi grafik olarak gösterilmiştir (Şekil 3).

Tablo 2'de gösterildiği gibi, ayırıcı basıncının düşmesi ile birlikte, üretilen buhar miktarı artmakta, ancak buharın türbin çıkışında atmosfere atılması nedeni ile ısıtma kapasitesinde önemli bir kayıp olmaktadır. Isıtma kapasitesinde meydana gelen azalmanın yanı sıra, bir ilk değerler dirme olarak, bu kadar küçük güçlü bir tesis için yapılacak yatırımın ekonomik olmayacağı öngörülebilmektedir.

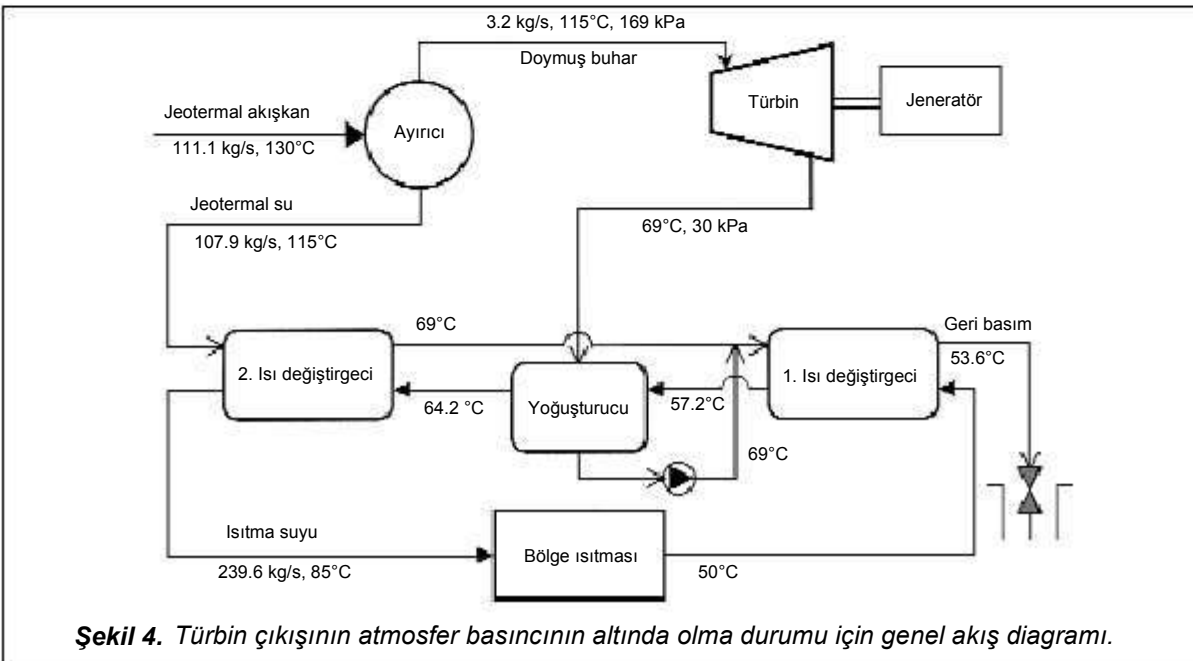


Şekil 3. Türbin gücü üretiminin ayırıcı sıcaklığı ile değişimi.

3.2. Türbin çıkışının atmosfer basıncının altında olma durumu

Isıtma kapasitesi azalmaksızın güç üretimini arttıran bir yol, türbinden çıkan buharın düşük basınçta yoğunlaştırılması ve yoğunlaşma ısısının bölge dolaşım suyunun ısıtılmasında kullanıl-

masıdır. Ancak bölge devresinden dönen suyun ilk olarak yoğunlaştırıcıya girmesi ve burada yoğunlaşma buharının ısı kullanılarak ön ısıtma yapılmaması durumunda, jeotermal akışkanın geri basım sıcaklığı, yoğunlaştırıcıdan çıkan dolaşım suyunun sıcaklığının üzerinde kalacaktır. Bu durum ısıtma kapasitesinde bir azalmaya neden olacaktır.



Şekil 4. Türbin çıkışının atmosfer basıncının altında olma durumu için genel akış diagramı.

tir. Buna karşı önerilen bir düzenleme şeklinde gösterilmiştir (Şekil 4). Yapılan bu düzenlemede, yoğunlaştırıcı öncesi ve sonrası iki ayrı ısı değiştirici kullanılmıştır. İlk ısı değiştirgecinde, bölge dolaşım suyunun ön ısıtması jeotermal akışkan kullanılarak yapılmaktadır. Daha sonra yoğunlaşma ısısı aktarılmakta ve son olarak 2. ısı değiştirici de dolaşım suyu istenilen sıcaklığa getirilmektedir. Düzenlemede, 2. ısı değiştiricide ve yoğunlaştırıcıda sıcak ve soğuk akışkan arasındaki en düşük sıcaklık farkı 5°C seçilmiştir. 1. ısı değiştiricisinde ise, sistemden uzaklaştırılan jeotermal akışkan ile bölge dolaşım suyu giriş sıcaklıkla

Ekipman	Tersinmezlik Artışı
[kW]	
Ayırıcı	113.6
Türbin	191.4
Yoğuşturucu	158.1
1. Isı Değiştirgeci	141.9
2. Isı Değiştirgeci	845.3
TOPLAM	1450.3

Görüldüğü gibi, yapılan düzenlemelere karşın, 2. ısı değiştirgecinde, jeotermal akışkan ve bölge dolaşım suyu arasındaki sıcaklık farkı nedeni ile

rı arasındaki fark, 3.6°C olmaktadır. Ayırıcıdan elde edilen buhar miktarının ve dolayısı ile güç üretiminin belirlenmesinde, 1. ısı değiştirgecin den çıkan bölge dolaşım suyunun yoğunlaştırabileceği buhar miktarı göz önüne alınmıştır. Yapılan bu düzenleme ile, ısıtma kapasitesinde bir kayıp olmamakta, geri basım sıcaklığının elektrik üretimi olmayan duruma göre 1.4°C düşmesi ile 659 kW güç üretim kapasitesi elde edilmiştir olmaktadır.

4. EKSERJİ ANALİZİ

Mevcut bölge ısıtma sisteminin ve elektrik üretimi için önerilen sistemin ekserji kayıpları incelenerek karşılaştırılmıştır. Basitlik için, farklı sıcaklıkta ki kuyuların üretimlerinin karıştırılmasından ileri gelen ekserji kaybı gözönüne alınmamıştır. Bir termodinamik sistemdeki tersinmezlik artışı, entropi üretiminden yola çıkarak hesaplanmaktadır [7]:

$$I = T_0 S_{\text{generation}} \quad (1)$$

Mevcut ısıtma sisteminde kullanılan bölge ısı değiştirgecinde (Şekil 1), T_0 çevre sıcaklığı 298 K alınarak ve sıcak ve soğuk akışkanların ısı değiştirgeci giriş ve çıkışındaki entropileri kullanarak sistemin toplam tersinmezlik artışının 2049 kW olduğu hesaplanmaktadır (Jeotermal akışkanın ekserjisi 6429 kW azalırken, bölge ısıtma sisteminin ekserjisi 4380 kW artmaktadır). Güç üretimi için önerilen sistemdeki ekserji kaybı ise, pompalar hariç sistemin her ekipmanı için ayrı ayrı hesaplanmış ve Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Sistemdeki toplam ekserji kaybı.

suyu temini için gerekli soğutma kulesi veya hava soğutucuların kurulması ve işletilmesi gereği olmayacaktır. Sonuç olarak, Balçova jeotermal sisteminin en yüksek verim ile işletilebilmesi ve jeotermal kaynağın kullanılabilirliğinden yüksek oranda yararlanma ilkeleri göz önüne alınarak, önerilen seçeneklerin işletme kolaylıkları ve ekonomik getirileri açısından daha kapsamlı incelenmesi gerektiği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] KÜÇÜKA, S., Jeotermal Bölge Isıtması Dağıtım Sistemlerinin Genel Esasları, TESKON V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, Makina Müh. Odası Yayın No: 269-1, 503-518, 2001.
- [2] BOMBARDA, P. ve MACCHI, E., Optimum

ulaşımı suyu arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle yüksek tersinmezlik artışı olmakta ve ayırıcıdan çekilen sıvı fazın kullanılabilirliğinin ancak bir kısmı değerlendirilmektedir. Buna karşın, toplam tersinmezlik miktarı, sadece ısıtma yapılan sisteme göre, üretilen güce yakın bir miktarda azalmıştır. Tersinmezlik azalmasının üretilen güce eşit olmamasının nedeni, jeotermal akışkanın dönüş şartlarının az da olsa değişmesidir. Diğer yandan, tersinmezliğin daha çok azalması ve güç üretiminin artırılması için ikincil akışkan kullanılan güç çevrimlerinin devreye alınması olanaklıdır. Ancak esas amacın bölge ısıtması olması nedeniyle, sistemin basitliğinin kaybolmaması için bu yöntem araştırılmamıştır.

SONUÇ

Mevcut işletme şartlarında, Balçova jeotermal ısıtma sistemindeki tersinmezlik artışı 2049 kW olarak hesaplanmıştır. Tesis edilebilecek bir köle jenerasyon sistemi ile, sistemin ısıtma kapasitesi değişmeksizin kendine yeterli miktarda elektrik üretilmesinin teknik olarak olanaklı olduğu gösterilmiştir. Balçova bölge ısıtma sisteminin işletme giderlerinin yaklaşık yarısının pompaların çalıştırılması için gerekli elektrikten kaynaklandığı düşünüürse, bu sonucun tesis açısından önemi anlaşılır.

Bunların yanı sıra, bir güç üretim sisteminin kurulmasının ekonomik analizi yapılmalı ve işletme açısından getirebileceği zorluklar değerlendirilmelidir. Sistemin küçük güçlü oluşu, birim güç için ilk yatırım giderlerinin artmasına neden olacaktır. Ancak, soğutmanın bölge ısıtma sisteminde dolaşan su ile yapılması nedeniyle, soğutma

- [3] LUND, J.W., ve BOYD, T., Small Geothermal Power Projects, Geo-Heat Center Bulletin, 20-2, 9-26, 1999.
- [4] URA, K., ve SAITOU, S., Geothermal Binary Power Generation System, Proceedings of World Geothermal Congress, 3327-3333, Kyushu-Tohoku, Japan, 2000.
- [5] ÇANAKÇI, C., Balçova Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi, Soğutma Dünyası, 21, 33-39, 2003.
- [6] TOKSOY, M., KUTLUAY, F. ve ÇANAKÇI, C., Jeotermal Enerji Bölge Isıtma Sistemlerinde İşletme: Balçova Örneği, Jeotermal Enerji Doğrudan Isıtma Sistemleri; Temelleri ve Tasarımı Seminer Kitabı, Makina Müh. Odası Yayın No: 270, 287-303, 2001.
- [7] ÇENGEL, Y., ve BOLES, M.A., "Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik", McGraw-Hill, 1992.

Cycles for Geothermal Power Plants, Proceedings of World Geothermal Congress, p:3133-3138, Kyushu-Tohoku, Japan, 2000. 1996.