

# JEOTERMAL BÖLGE ISITMA SİSTEMLERİNDE KOJENERASYON ÇEVİRİMİ İLE GÜÇ ÜRETİLMESİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ -BALÇOVA ÖRNEĞİ-

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 yitirilmektedir. 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 olabilirliği 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 ısıtılma 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 sıcaklıklarında 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 kullanılmaktadır. Burada, ısısının bir kısmını güç ünitesinde bırakarak çıkan jeotermal akışkan, daha sonra sera ısıtılmasında değerlendirilmektedir [3]. Düşük sıcaklıklı sahaların elektrik üretimine açılması için deneme amaçlı kurulan 400 kW gücünde diğer bir ikincil çevrim tesisinde ise, jeotermal su santrale 130°C sıcaklığında girmekte ve 106°C sıcaklığında çıkmaktadır [4]. Jeotermal akışkandan elde edilen su buharının doğrudan kullanıldığı Japonya Kirishima Oteli 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 yararlanılmaması nedeni ile,

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 amacı ile 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 yüksek olmaktadır. Ancak, her durumda, düşük çalışma sıcaklıkları nedeni ile, jeotermal bir santralin 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 olmaktadır.

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 olabilirliği ve bu üretimin bölge ısıtma sistemi kapasitesine etkisi incelenmiştir.

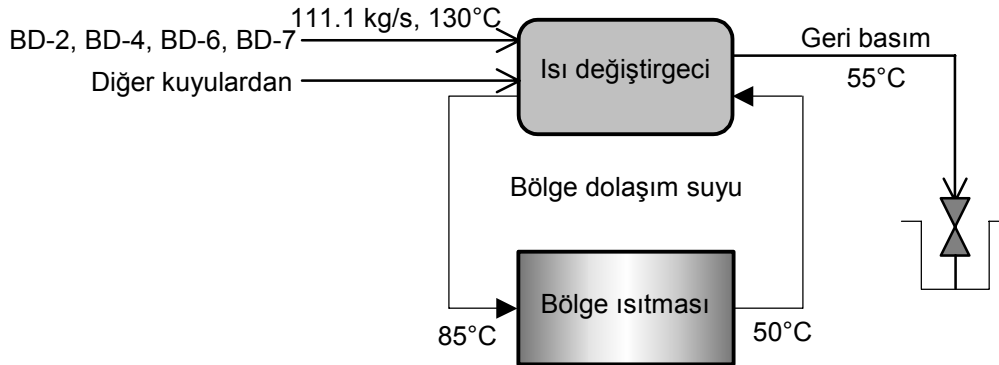
## 2. BALÇOVA JEOTERMAL BÖLGE ISITMA SİSTEMİ

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.** Balçova jeotermal bölgesinde işletmedeki kuyular.

BD-2		BD-4		BD-6		BD-7		B-4		B-5		B-10		B-11	
Debi [m <sup>3</sup> /h]	T [°C]	Debi [m <sup>3</sup> /h]	T [°C]	Debi [m <sup>3</sup> /h]	T [°C]	Debi [m <sup>3</sup> /h]	T [°C]	Debi [m <sup>3</sup> /h]	T [°C]	Debi [m <sup>3</sup> /h]	T [°C]	Debi [m <sup>3</sup> /h]	T [°C]	Debi [m <sup>3</sup> /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

Tablo 1'den, diğerlerine göre yüksek sıcaklıkta olan dört adet kuyunun (BD-2, BD-4, BD-6 ve BD-7) toplam üretimi 391 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/h (111.1 kg/s) olduğu kabul edilmiştir (Şekil 1).



**Şekil 1.** Balçova jeotermal bölge ısıtma sisteminin genel şeması.

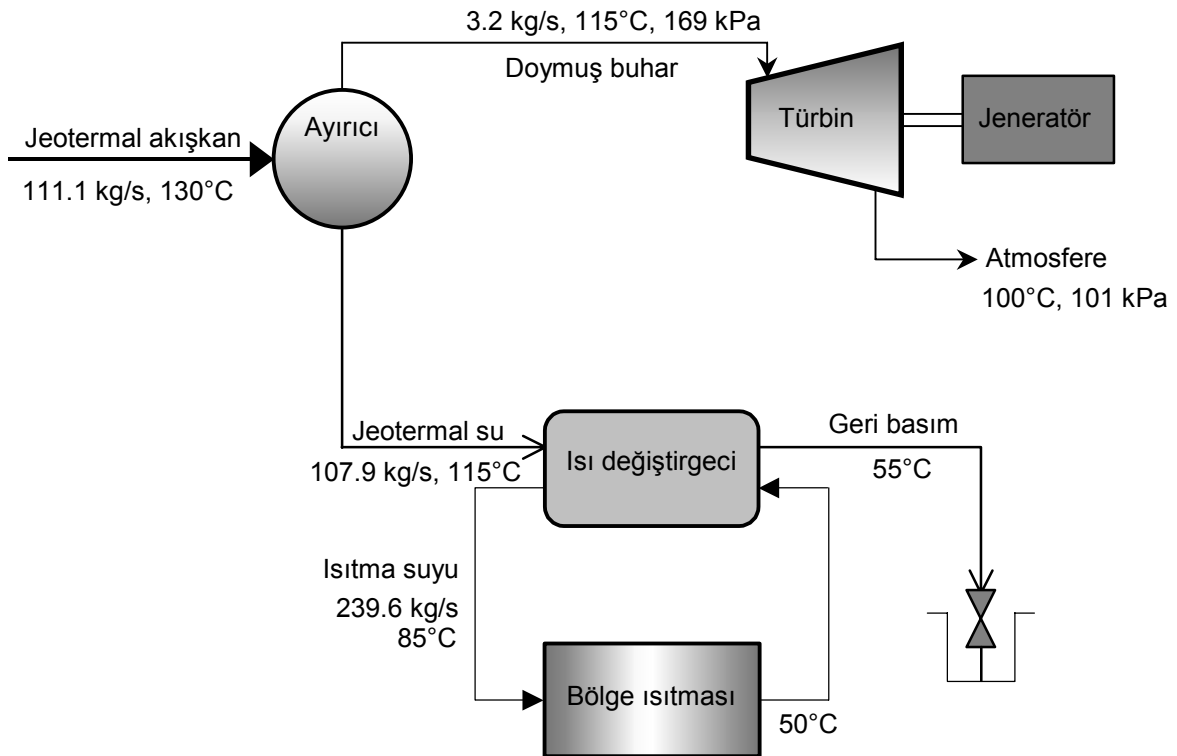
Diğer taraftan, Balçova jeotermal bölge ısıtma sistemi işletme giderleri içinde elektrik tüketimi payının, 2000 yılı içinde, yaklaşık %50 olduğu belirtilmiştir [6]. Elektrik tüketiminin ana kalemleri kuyu içi pompaları ile şehir dolaşım pompalarıdır. Bu çalışmada, yüksek sıcaklıktaki kuyuların üretiminden 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 ısısı yardımcı bir akışkana aktarılmakta ve yardımcı akışkan bir güç çevriminde kullanılmaktadır. Daha basit yapısı ve düşük ilk yatırım maliyetleri nedeni ile, burada doğrudan jeotermal akışkandan üretilen su buharının kullanıldığı ayırma buharlı sistemler incelenmiştir.

#### 3.1. Karşı Basıncılı Türbin Kullanımı

Su buharı kullanılan en basit yapılı santraller, türbin çıkış buharının atmosfere bırakıldığı karşı basıncılı 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.



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

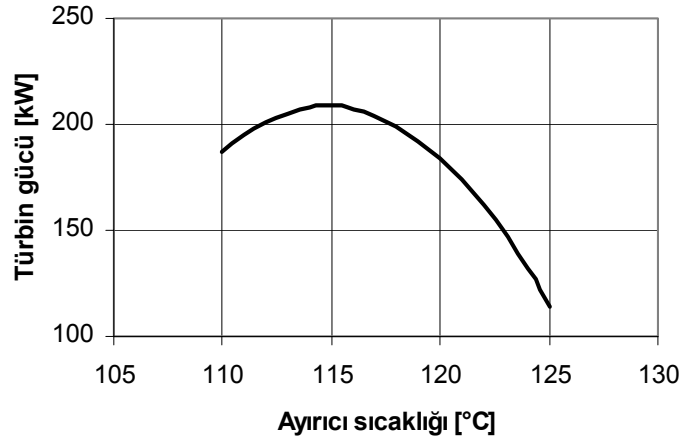
Balçova jeotermal sistemi için yapılan incelemede, yüksek sıcaklıktaki BD-2, BD-4, BD-6 ve BD-7 kuyularının değerleri göz önüne alınarak, ortalama üretim sıcaklığının 130°C, üretim debisinin ise

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 düşünüldüğü düşünülerek, ayırıcıda çekilen buhar nedeni ile ısıtma kapasitesinde olan kayıp ayrıca hesaplanmıştır. Ayırıcı sıcaklığına (basıncına) bağlı olarak üretilen buhar miktarı ve ısıtma kapasitesindeki azalma Tablo 2’de verilmiş ve türbin gücünün değişimi grafik olarak gösterilmiştir (Şekil 3).

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

Ayırıcı basıncı ve sıcaklığı	Üretilen buhar miktarı [kg/s]	Türbin çıkış kuruluk derecesi	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

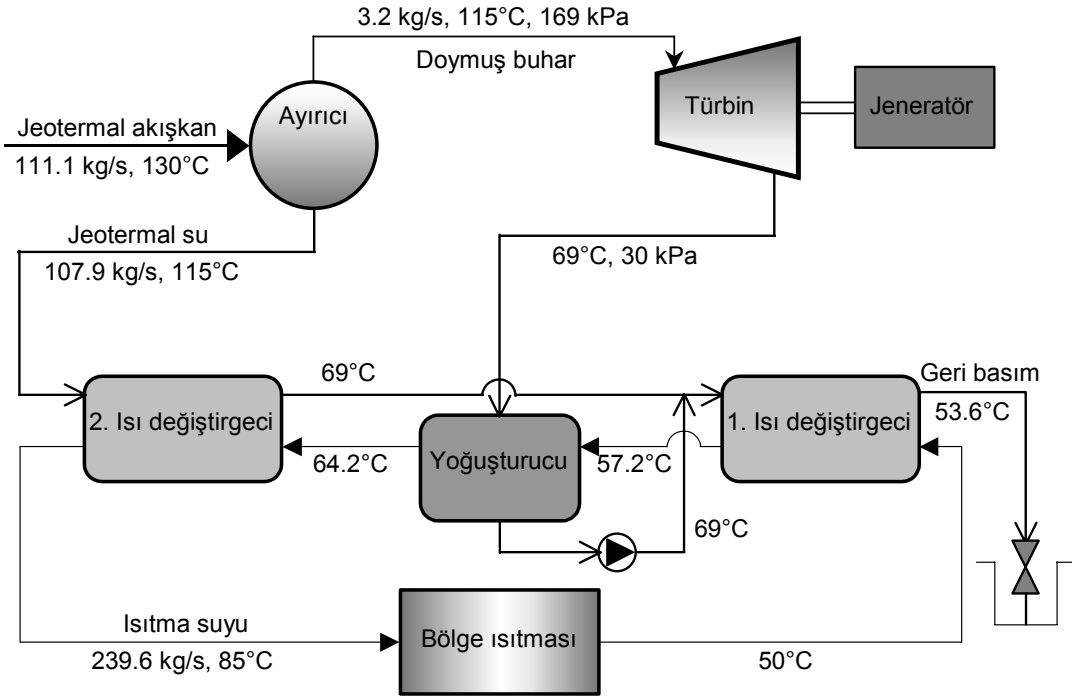
Tablo 2’de gösterildiği gibi, ayırıcı basıncının düşmesi ile birlikte, üretilen buhar miktarı artmakta, ancak buharın türbin çıkışında atmosfere atılması nedeni ile ısıtma kapasitesinde önemli bir kayıp olmaktadır. Isıtma kapasitesinde meydana gelen azalmanın yanısıra, bir ilk değerlendirme olarak, bu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



**Şekil 3.** Türbin güç üretiminin ayırıcı sıcaklığı ile değişimi.

### 3.2. Türbin çıkışının atmosfer basıncının altında olma durumu

Isıtma kapasitesi azalmaksızın güç üretimini arttırmanın bir yolu, türbinden çıkan buharın düşük basınçta yoğuşturulması ve yoğuşma ısısının bölge dolaşım suyunun ısıtılmasında kullanılmasıdır. Ancak bölge devresinden dönen suyun ilk olarak yoğuşturucuya girmesi ve burada yoğuşan buharın ısı kullanılarak ön ısıtma yapılması durumunda, jeotermal akışkanın geri basım sıcaklığı, yoğuşturucudan çıkan dolaşım suyunun sıcaklığının üzerinde kalacaktır. Bu durum ısıtma kapasitesinde bir azalmaya neden olacaktır. Buna karşı önerilen bir düzenleme şekilde gösterilmiştir (Şekil 4). Yapılan bu düzenlemede, yoğuşturucu öncesi ve sonrası iki ayrı ısı değiştirici kullanılmıştır. İlk ısı değiştiricisinde, bölge dolaşım suyunun ön ısıtması jeotermal akışkan kullanılarak yapılmaktadır. Daha sonra yoğuşma ısı aktarılmakta ve son olarak 2. ısı değiştiricide dolaşım suyu istenilen sıcaklığa getirilmektedir. Düzenlemede, 2. ısı değiştiricide ve yoğuşturucuda 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 sıcaklıkları arasındaki fark, 3.6°C olmaktadır. Ayırıcıdan elde edilen buhar miktarının ve dolayısı ile güç üretiminin belirlenmesinde, 1. ısı değiştiriciden çıkan bölge dolaşım suyunun yoğuşturabileceği 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 edilmiş olmaktadır.



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

#### 4. EKSERJİ ANALİZİ

Mevcut bölge ısıtma sisteminin ve elektrik üretimi için önerilen sistemin ekserji kayıpları incelenerek karşılaştırılmıştır. Basitlik için, farklı sıcaklıktaki 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 kullanılarak 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.

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

Görüldüğü gibi, yapılan düzenlemelere karşın, 2. ısı değiştirgecinde, jeotermal akışkan ve bölge dolaşım suyu arasındaki sıcaklık farkı nedeni ile 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 nedeni ile, sistemin basitliğinin kaybolmaması için bu yöntem araştırılmamıştır.

## SONUÇ

Mevcut işletme şartlarında, Balçova jeotermal ısıtma sistemindeki tersinmezlik artışı 2049 kW olarak hesaplanmıştır. Tesis edilebilecek bir kojenerasyon 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 düşünülürse, 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 nedeni ile, soğutma 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 Cycles for Geothermal Power Plants, Proceedings of World Geothermal Congress, p:3133-3138, Kyushu-Tohoku, Japan, 2000.
- [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, 1996.



## ÖZGEÇMİŞLER

### Serhan KÜÇÜKA

1960 yılı İzmir doğumludur. 1983 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünü bitirdi. Aynı bölümden 1985 yılında Yüksek Lisans, 1993 yılında Doktora derecelerini aldı. 1990-1998 yılları arasında TÜPRAŞ İzmit ve İzmir rafinerilerinde borulama, depolama tanklarının imal ve yenilenmesi, pompa sistemleri, bina ısıtma sistemleri gibi muhtelif konularda proje mühendisi olarak çalıştı. Halen DEÜ Makina Mühendisliği Bölümünde Yrd. Doç. olarak çalışmaktadır. Jeotermal ısıtma ve elektrik üretim sistemleri, jeotermal ısı pompaları, akış ve ısı transferi problemlerinin sayısal çözümü konularında çalışmaktadır.

### Tahsin BAŞARAN

1967 Selçuk doğumludur. Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü 1991 senesinde bitirmiştir. Aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü, Termodinamik ABD'dan 1995 yılında yüksek lisans derecesini ve adı geçen enstitünün Enerji ABD'dan doktora derecesini, 2002 yılında almıştır. 2000-2001 döneminde, Yeni Zelanda hükümetinin verdiği bursla, 1 yıl süreyle, Auckland Üniversitesi Jeotermal Enstitüsü'nde, Jeotermal Diploma Kursuna katılmıştır. Halen DEÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Isı iletiminde sayısal çözümleme, termosifon döngüsündeki akışın incelenmesi, soğu depolama ve jeotermal enerjinin doğrudan ve dolaylı kullanımına ilişkin uygulamalar; bu bağlamda derin kuyu ısı değiştirgeçleri üzerine çalışmaktadır.