

# BİR JEOTERMAL ENERJİ SANTRALİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ VE HAVA VE SU SOĞUTMALI ÇEVİRİM PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

*Thermodynamic Analysis And Performance Assesment Of A Geothermal Power Plant With Air And Water Cooled Condenser*

Anıl ERDOĞAN  
Serhan KÜÇÜKA

## ÖZET

Bu çalışmada jeotermal enerjiye dayalı ve organik Rankine çevrimi kullanılan elektrik üretim tesislerinde santral üretim gücünün dış sıcaklıklara bağlı değişimi incelenmiş, ayrıca hava soğutmalı yoğuşturucu yerine su soğutmalı yoğuşturucu kullanılmasının üretim gücü ve verime etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda Engineering Equation Solver (EES) paket programı kullanılarak çevrimin termodinamik modeli oluşturulmuştur. Manisa-Alaşehir'de kurulu bir jeotermal güç santrali için analiz yapılarak yoğuşturma basıncının dış sıcaklık ve bağıl neme bağlı değişimleri ve santral aylık ortalama net gücü hesaplanmıştır. Ayrıca en sıcak ay için üretim kapasitesinin saatlik değişimi incelenmiştir. Soğutma kulesinin su tüketimi hesaplanarak, jeotermal akışkanın separatörde ayrışması sırasında elde edilen buharın besleme suyu ihtiyacını ne oranda karşılayacağı tartışılmıştır. Sonuçlar su soğutma kulesi ve buna bağlı olarak su soğutmalı yoğuşturucu kullanılması halinde, santral enerji üretiminin yıllık toplamda %7,4 artacağını ayrıca su soğutmalı yoğuşturucu kullanılan çevrimde üretimin daha kararlı olacağını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Organik Rankine Çevrimi, Jeotermal Enerji, Su Soğutmalı Yoğuşturucu, Hava Soğutmalı Yoğuşturucu.

## ABSTRACT

In this study, a geothermal energy based organic Rankine cycle is investigated regarding variations of ambient temperature on the power production in the plant. In addition, the effect of using water cooled condenser instead of air cooled condenser on the net power output and efficiency of the cycle is investigated. For this purpose, a thermodynamic model of the cycle is developed using Engineering Equation Solver (EES) environment. By analyzing for a geothermal power plant in Manisa-Alasehir, changes in the condensation pressure with respect to ambient temperature and relative humidity and the average power of the plant are calculated. In addition, the hourly change in production capacity for the hottest month were examined. The results illustrated that, when the water cooling tower and also the water cooled condenser are used in power plant installed in Alasehir-Manisa, the electricity production is increased by 7.4% annually, and also the results indicated that the water cooled condenser is more stable than air cooled condenser in the cycle used.

**Key Words:** Organic Rankine Cycle, Geothermal Energy, Water Cooled Condenser, Air Cooled Condenser.

## 1. GİRİŞ

Jeotermal enerji kullanılan güç santrallerinin ilk dönemlerinde, üretilen akışkandan kuru buhar elde edilerek türbine gönderildiği kuru su buharına dayalı çevrimler kullanılmakta idi. Ancak jeotermal enerjinin genellikle yüksek basınçlı sıvı akışkan olarak üretilmesi ve üretim sıcaklığının sınırlı olması gibi nedenlerle günümüz santrallerinin pek çoğunda çevrim akışkanı olarak ikincil akışkan

kullanılmaktadır. Jeotermal enerjiden ve atık ısı kaynaklarından güç üretmekte kullanılan bu tip düşük sıcaklık kaynağına dayalı güç çevrimlerinde genel olarak yoğunlaşma sıcaklıklarındaki doyma basıncı atmosfer basıncında yüksek olan ve daha önemlisi türbin çıkış durumu kızgın buhar olarak kalan organik akışkanlardan biri kullanılmakta ve çevrim Organik Rankine Çevrimi (ORC) olarak isimlendirilmektedir. Kullanılan organik akışkanlar Pentan, R134a, R1234yf, R245fa, R1234ze(E) ve Isobütan olabilmektedir.

Literatürde JES ler için farklı çevrim önerileri mevcuttur. Lu vd. [1] jeotermal enerji kaynaklı dört farklı güç üretim sisteminin (tek flaş (SF), çift flaş (DF), flaş-ORC (F-ORC) ve çift flaş-ORC (DFORC)) hem termodinamik hem de termo-ekonomik açıdan performans değerlendirmesini yapmışlardır. Bir optimizasyon çalışması yapılarak net güç çıktısını amaç fonksiyonu olarak belirlenerek dört farklı sistem karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda çift flaş, flaş-ORC ve çift flaş-ORC sistemlerinde tekli flaş sisteme nazaran net elektrik gücünde %20 artış olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Coşkun vd. [2] Kütahya-Simav bölgesindeki jeotermal bölgeleri ele alarak elektrik üretimi için farklı çevrim konfigürasyonlarını (çift flaş, ikili flaş, birleşik flaş ve ikili ve Kalina çevrimi) termodinamik ve termo-ekonomik açıdan ele almışlardır. Parametrik çalışma yaparak türbin giriş basıncının güç, enerji ve ekserji verimleri üzerindeki değişimini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda maksimum güç üretimi, birinci yasa ve ikinci yasa verimi Kalina çevrimi için ve onu takiben birleşik flaş ve ikili çevrim için elde edildiği sonucuna varmışlardır. Wei vd. [3] egzoz atık ısını kullanan organik Rankine çevriminin performans analizini ve optimizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda egzoz ısı kullanımının mümkün olduğunca maksimum düzeyde olması sistemin net gücünün ve verimini arttırdığını; ortam sıcaklığı çok yüksek olduğunda güç ve verimde %30 oranında azalma olduğu sonucuna varmışlardır.

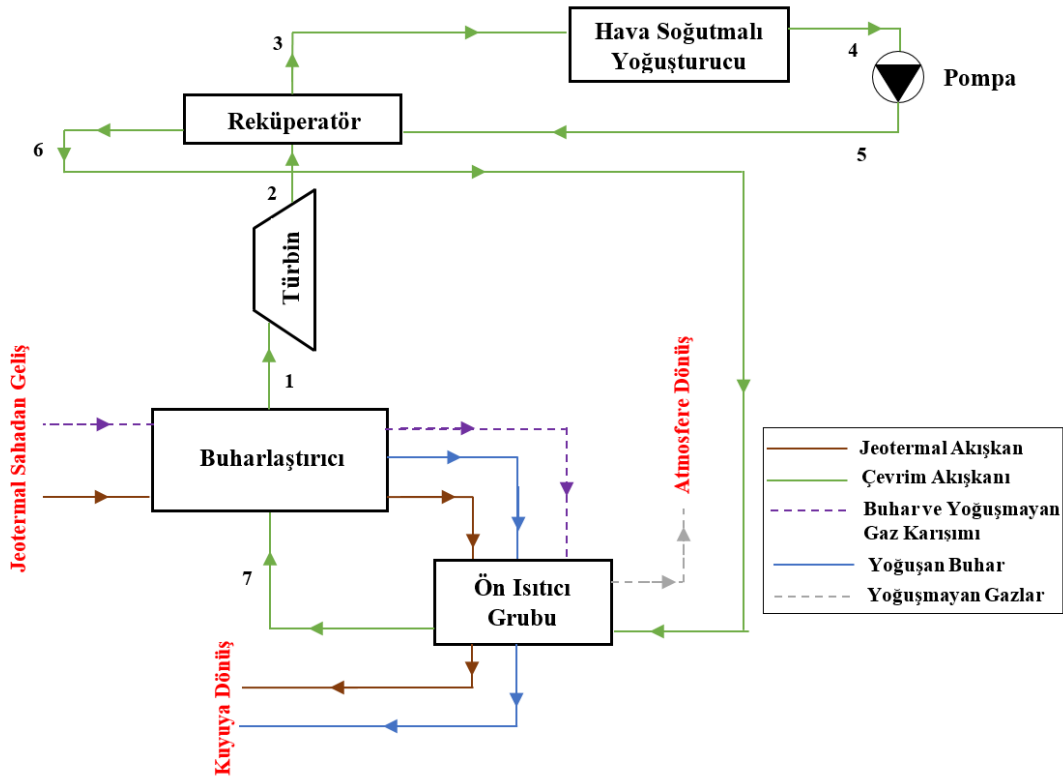
Öte yandan, Jeotermal elektrik üretim santrallerinde (JES), genel olarak hava soğutmalı kondenserler kullanılmaktadır. Bu durum, beslendiği kaynak itibari ile buhar üretim sıcaklığı zaten düşük olan bu santrallerde türbin çıkış basıncının dış koşullara bağlı olarak değişmesine ve artan çevre sıcaklıklarında elektrik üretiminin yüksek oranda düşmesine neden olmaktadır. Toksoy vd. [4] Salavatlı-Sultanhisar yöresinde kurulmuş DORA-1 santralinde evaporatif soğutma uygulanması halinde santral gücünün ne şekilde değişeceğini incelemişlerdir. Santralin üretim gücünün dış sıcaklığa bağlı değişimi ve buna ilişkin düzeltme faktörü tasarım parametresi olarak bilinmektedir. Yazarlar, kuru ve yaş termometre sıcaklıklarının aylık ortalama değerlerinden hareketle, evaporatif soğutma uygulanması halinde santral yıllık elektrik enerjisi üretiminin %6 artacağı sonucuna varmışlardır. Serpen ve Türkmen [5] Kızıldere jeotermal santralının son 23 yıllık performansını inceleyerek planlama ve işletme konusunda araştırmalar sunmuşlardır. Ayrıca jeotermal santralde kullanılan buharlı güç çevriminin ekserji analizini yaparak santralin performansını değerlendirmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda santral için kullanım ve çevrim verimliliklerini sırasıyla %12 ve %25 olarak hesaplamışlardır. Buna ek olarak açığa çıkan CO<sub>2</sub>'den dolayı santralde güç üretiminde %12 oranında kayıp olduğunu bulmuşlardır.

Yukarıdaki çalışmalarda, ülkemizdeki farklı santrallerin incelendiği ve ayrıca farklı çevrim önerileri mevcut olduğu görülmektedir. Bu çalışmada ise, mevcut bir kurulu santralde, çevrimin ayrıntılı termodinamik analizi yapılarak, santral gücünün yoğunlaşma sıcaklığına bağlı değişimi elde edilmiştir. Bu şekilde, santral gücünün aylık ortalama sıcaklıklara bağlı değişimi gösterilmiş ve su soğutmalı yoğunlaştırıcı kullanılması halindeki üretim kazancı hesaplanmıştır.

## 2. SİSTEMİN TANITIMI

Bu çalışmada, ülkemizde yaygın olarak kullanılan tek kademeli ve rejeneratörlü bir ORC sistemi göz önüne alınmıştır. Örnek alınan sistem Manisa Alaşehir'de kurulu olup, sistemin akış şeması şematik olarak Şekil 1'de gösterildiği gibidir.

Bu sistemde, 178°C sıcaklık ve 492 ton/saat debide jeotermal akışkan ile; aynı sıcaklık ve 1160 kPa basınçta 58,1 ton/saat buhar ve 29,9 ton/saat kütleli debide yoğunlaşmayan gazlar tesise gelmekte, jeotermal akışkan ve buharın yoğunlaşan 56,6 ton/saat kısmı 106°C sıcaklıkta sahaya geri dönmektedir. Kalan yoğunlaşmayan buhar ve gazlar atmosfere atılmaktadır.



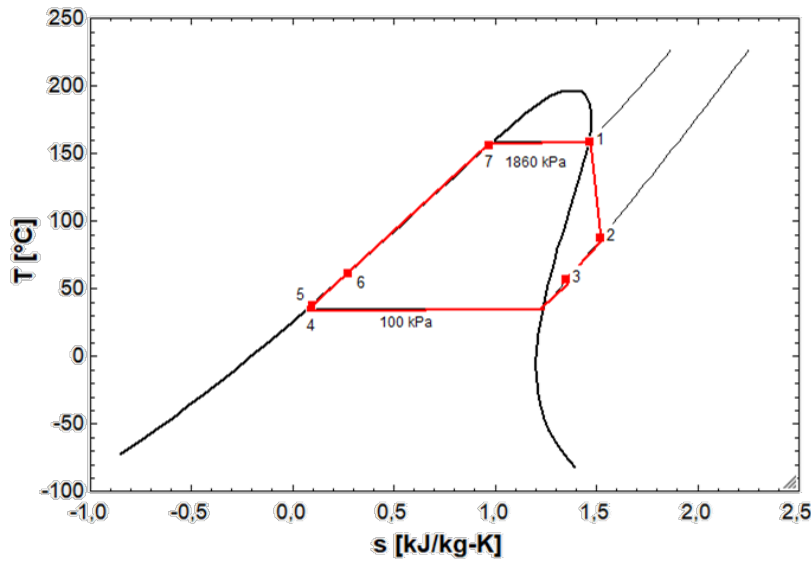
Şekil 1. İncelenen sistemin akış şeması.

Güç üretim tarafında çevrim akışkanı olarak kullanılan n-pentan, 1860 kPa basınç ve 158,9°C sıcaklıkta buharlaştırılarak türbine gönderilmekte ve iş elde edilmektedir. n-pentan dolaşım debisi 592,7 ton/saattir. Türbinden çıkan akışkan, reküperatörde ısısının bir kısmını bırakarak hava soğutmalı yoğuşturucuya geçmektedir. Tasarım noktasında, hava soğutmalı yoğuşturucu hava giriş sıcaklığı 20°C ve yoğuşma sıcaklığı 34°C olmaktadır. Yapılan termodinamik çözümlemede, yoğuşturucu çıkışı doymuş sıvı durumunda alınarak yoğuşma basıncı hesaplanmış, bu basınç türbin çıkış basıncına eşit kabul edilmiştir. Yoğuşturucudan çıkan akışkan, reküperatör ve ön ısıtıcılardan geçerek buharlaştırıcıya geri dönmektedir. Yapılan hesaplamada, çevrimin güç üretimi 13208 kW, verimi ise %18,4 olarak belirlenmiştir.

Çevrimin farklı noktalarındaki basınç ve sıcaklık değerleri Tablo 1 de ve T-s diyagramı Şekil-2'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Çevrim akışkanının farklı noktalardaki termodinamik özellikleri.

Çevrim Noktaları	Sıcaklık (°C)	Basınç (kPa)	Entalpi (kJ/kg)	Entropi (kJ/kg·K)	Durum
1	159	1860	568,7	1,462	Doymuş buhar
2	86,39	98,35	475,2	1,52	Kızgın buhar
3	55	98,35	415,7	1,347	Kızgın buhar
4	35	98,35	21,31	0,07108	Sıvı
5	35,62	1860	24,19	0,07109	Sıvı
6	60,23	1860	83,71	0,2565	Sıvı
7	156	1860	354,2	0,9655	Sıvı



Şekil 2. Çevrimin T-s diyagramı.

### 3. SANTRAL PERFORMANSININ METEOROLOJİK VERİLERE GÖRE DEĞERLENDİRİLMESİ

Jeotermal güç üretim çevrimlerinde, akışkanın yoğuşma sıcaklığı dış hava koşulları ile değişmekte olup, bu durum santralin performansını doğrudan etkilemektedir. Santral gücünün dış hava sıcaklığına göre değişiminin incelenebilmesi için, EES programı kullanılarak çevrimin bir modeli oluşturulmuştur. Modelde yapılan kabuller aşağıda verilmiştir.

- Güç çevriminde çalışma akışkanı olarak n-pentan kullanılmaktadır.
- Yoğuşturucu çıkışında çalışma akışkanı doymuş sıvı durumundadır.
- Türbin isentropik verimi %82'dir.
- Pompa isentropik kabul edilmiştir.
- Boru hatları ve çevrim üzerindeki ısı değiştiricilerinde yükseklik değişimi ve sürtünmelerden ileri gelen basınç değişimleri ihmal edilmiştir.

Bu bölümde, iklim verileri kullanılarak santralin aylık performans değişimi hesaplanmıştır. İlk aşamada, hava soğutmalı yoğuşturucu kullanılan mevcut sistem değerlendirilmiştir. Bir sonraki aşamada ise, su soğutmalı yoğuşturucu kullanılması durumundaki sistem performansının değişimi incelenmiş ve ilk durumla karşılaştırılmıştır.

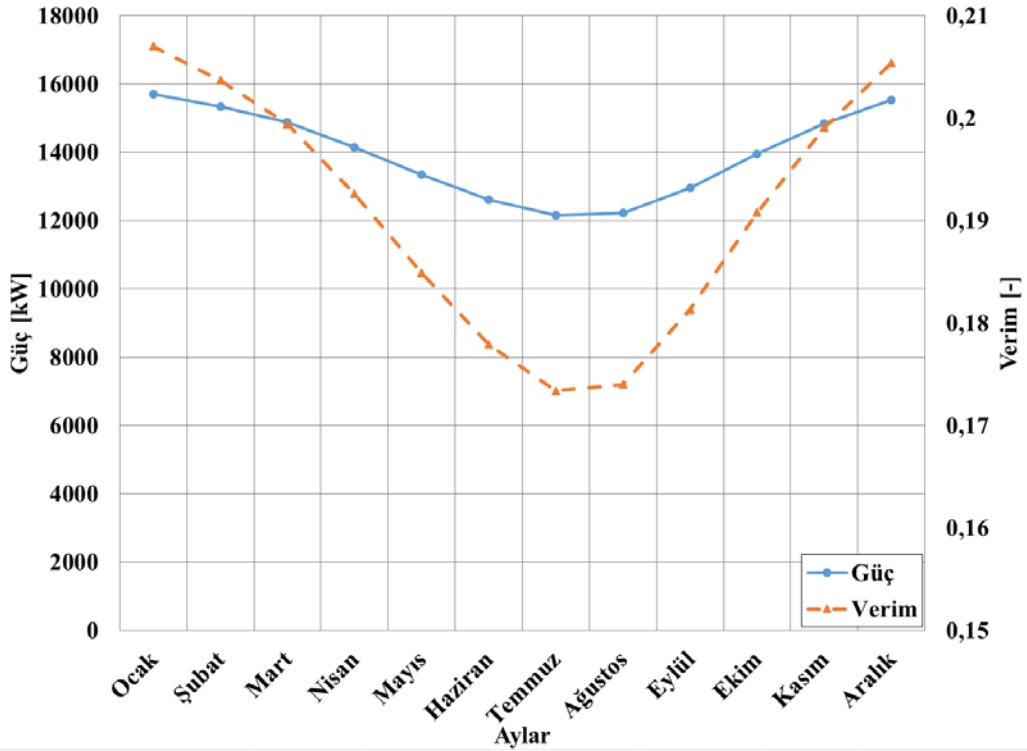
Alaşehir ilçesi için uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri Tablo 1'de verildiği gibidir.

**Tablo 1:** Alaşehir ilçesi aylara göre uzun yıllar ortalama sıcaklık ve bağıl nem değerleri (1994-2017).

Aylar	Kuru Termometre Sıcaklığı (°C)	Yaş Termometre Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)
Ocak	6,2	4,6	78,6
Şubat	8,3	6,2	74,3
Mart	11	8,2	69,2
Nisan	15,3	11,3	61,8
Mayıs	20,2	14,9	57,2
Haziran	24,7	18,1	53,2
Temmuz	27,6	19,6	48
Ağustos	27,2	19,9	51,1
Eylül	22,5	16,8	56,4
Ekim	16,5	13,3	69,9
Kasım	11,2	8,9	75,1
Aralık	7,2	5,6	78,9

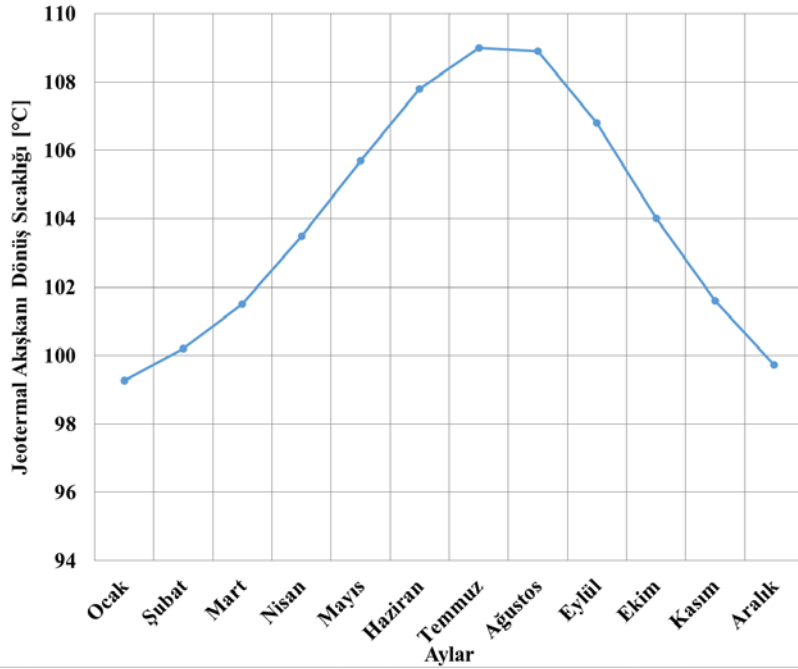
### 3.1. Hava Soğutmalı Yoğuşturucu Kullanılması Durumundaki Sistem Performansının Değişimi

Hava soğutmalı yoğuşturucu kullanılması durumunda, çevrim akışkanının yoğuşma sıcaklığı kuru termometre sıcaklığına bağlı olarak değişir. Sistemin mevcut durumu göz önüne alınarak yoğuşma sıcaklığının dış ortam kuru termometre sıcaklığından 16°C yüksek olduğu kabul edilmiş ve güç ve verimin aylara bağlı değişimi incelenmiştir (Şekil-3). Kış aylarında hava sıcaklığının azalmasına bağlı olarak güç ve verim en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Öte yandan yaz aylarında ise güç değerinde ciddi bir azalma olduğu görülmektedir. Çevrim en yüksek güç üretimi Ocak ayında 15715 kW gerçekleşmektedir. Temmuz ayında ise çevrim gücünün 12165 kW olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, dış sıcaklık arttıkça yoğuşturucu basıncı artmakta ve çevrim verimi düşmektedir. Görüldüğü üzere Temmuz ayında verim %17,34 ile en düşük değeri almakta, Ocak ayında ise en yüksek değeri olarak %20,7'e ulaşmaktadır.



Şekil 3. Çevrim net gücü ve veriminin aylık ortalama sıcaklığa göre değişimi.

Jeotermal akışkanın geri-basım kuyusuna dönüş sıcaklığının aylara göre değişimi Şekil 4'de gösterilmiştir. Dış sıcaklığın artması ve verimin düşmesi ile birlikte kuyu dönüş sıcaklığı artmaktadır. En düşük dönüş sıcaklığı Ocak ayında 99,26°C iken, en yüksek dönüş sıcaklığına ise Temmuz ayında 109°C ile ulaşılmaktadır.

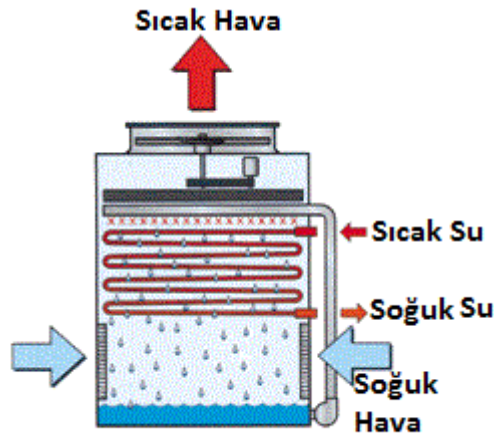


Şekil 4. Jeotermal akışkan dönüş sıcaklığının aylara göre değişimi

### 3.2. Su Soğutmalı Yoğuşturucu Kullanılması Durumundaki Sistem Performansının Değişimi

Organik Rankine çevrimli elektrik üretim santrallerinde, özellikle yaz aylarında verimin ve gücün aşırı azalmasını engellemek için bir yöntem su soğutmalı yoğuşturucu kullanılmasıdır. Bu kısımda, soğutma suyunun bir soğutma kulesi kullanılarak üretilmesi durumunda çevrim performansının değişimi incelenmiştir.

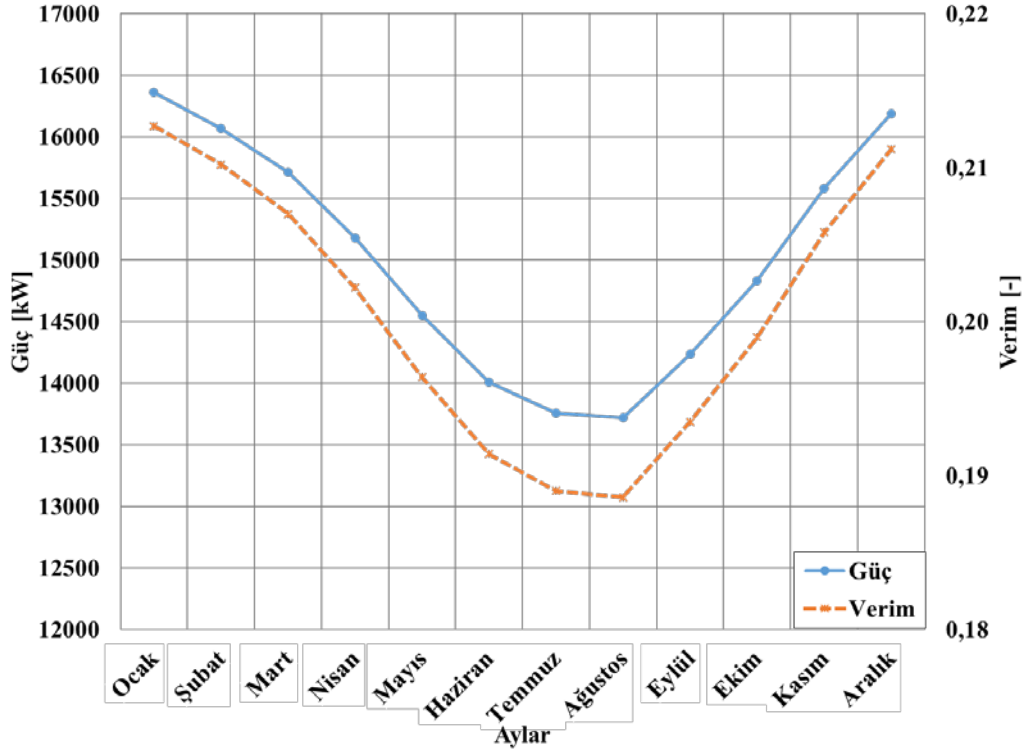
Çalışmada öngörülen kapalı tip su soğutma kulesinin genel görünüşü Şekil 5'te verilmiştir. Kapalı tip kulenin avantajı, dolaşan soğutma suyunun kapalı devrede olması nedeni ile dış kirleticilerden etkilenmemesidir.



Şekil 5. Kapalı tip su soğutma kulesi genel görünümü [6].

Genel işletme koşulları esas alınarak, soğutma suyunun kuleyi yaş termometre sıcaklığının yaklaşık 4°C üzerinde terk ettiği ve 10°C üzerinde geri döndüğü ve buna bağlı olarak çevrim akışkanı yoğuşma sıcaklığının yaş termometre sıcaklığının 14°C üzerinde olduğu kabul edilerek, santral verimi ve gücünün dış şartlara bağlı değişimi değerlendirilmiştir.

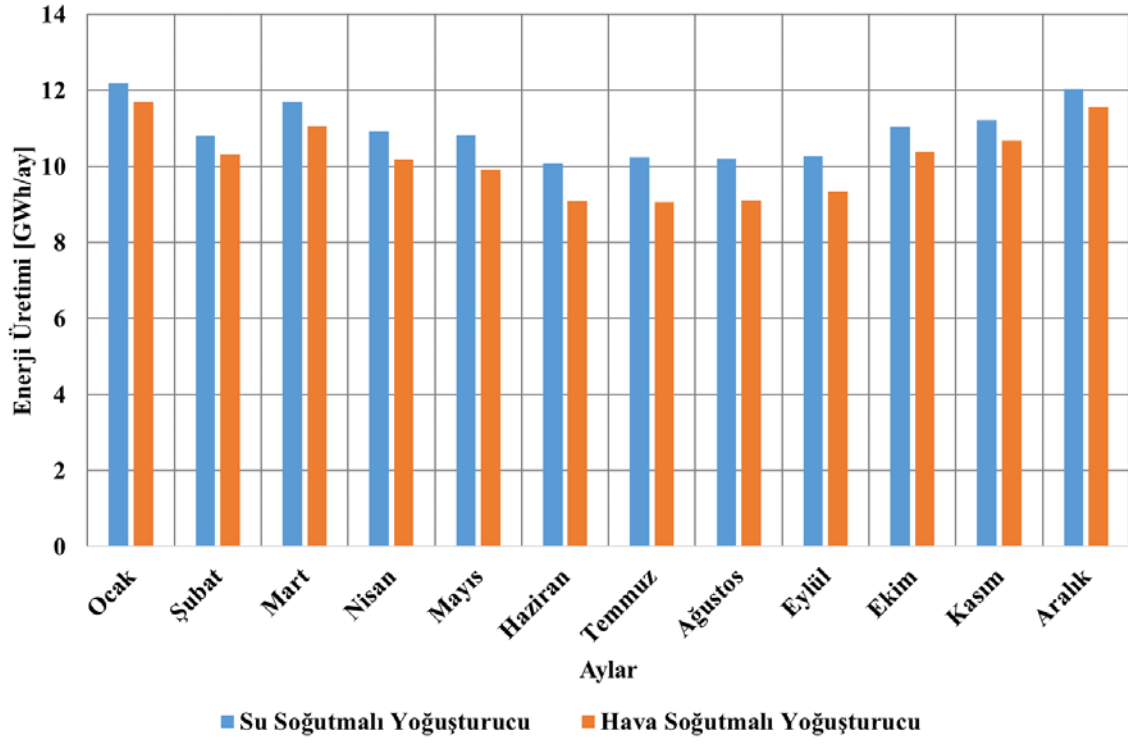
Şekil 6'da görüldüğü gibi aylık ortalama sıcaklıklara ve bağıl nem değerlerine göre hesaplanan çevrim gücü en yüksek değere Ocak ayında 16361 kW ile ulaşırken, Ağustos ayında 13721 kW değerine düşmektedir. Çevrim verimi de benzer şekilde Ocak ayında %21,27 değerine ulaşırken, Temmuz ayında %18,9 değerine düşmektedir.



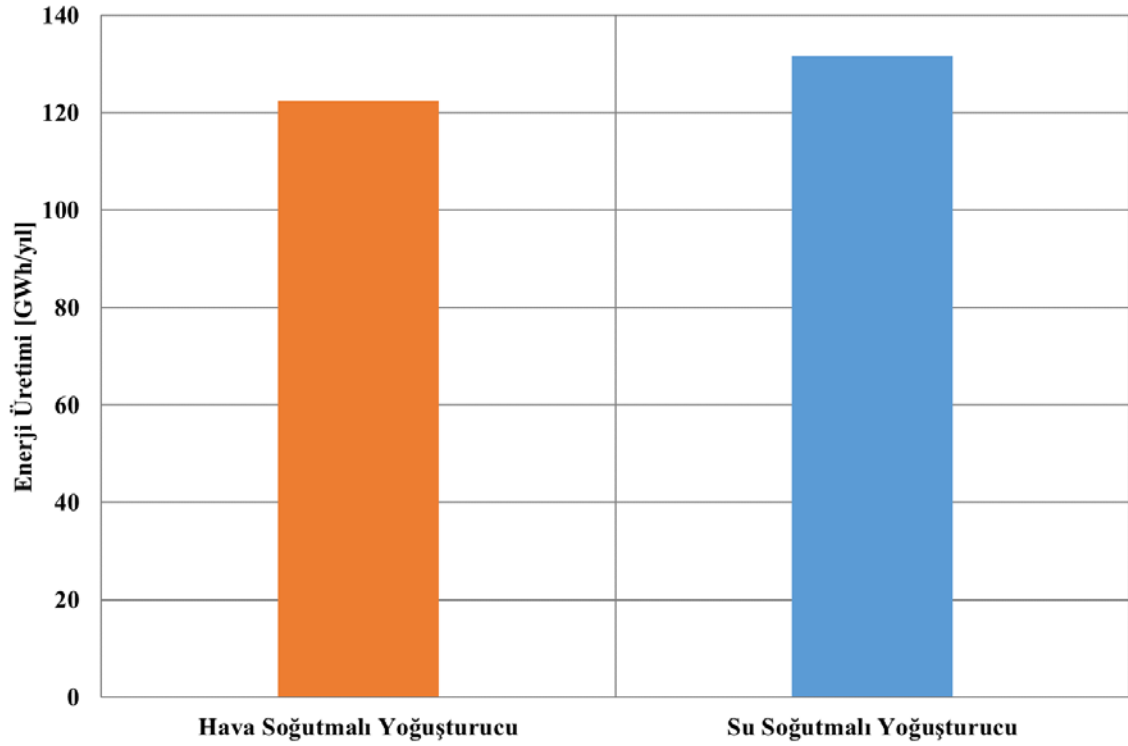
Şekil 6. Yaş termometre sıcaklığına bağlı çevrim net gücü ve veriminin aylara göre değişimi.

### 3.3 Hava Soğutmalı ve Su Soğutmalı Çevrimlerin Güç Üretimlerinin Karşılaştırılması

Çevrim güçleri kullanılarak hesaplanan aylık üretimler ve yıllık toplam üretim, Şekil 7 ve 8'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buna göre en fazla enerji üretiminin olduğu ay Ocak ayı olup, su soğutmalı yoğuşturucu kullanılması durumunda 12,17 GWh; hava soğutmalı yoğuşturucu kullanılması durumunda 11,69 GWh elektrik enerjisi üretilebilmektedir. En düşük aylık enerji üretimi Haziran ayında su soğutmalı çevrim için 10,08 GWh ve hava soğutmalı çevrim için 9,08 GWh olarak gerçekleşmektedir. Yıllık toplam enerji üretimi ise su soğutmalı yoğuşturucu kullanılması durumunda 131,49 GWh; hava soğutmalı yoğuşturucu kullanılması durumunda 122,37 GWh değerinde olup; su soğutmalı yoğuşturucu kullanılması durumundaki yıllık enerji üretimi %7,4 daha fazla olmaktadır.



Şekil 7. Hava ve soğutmalı ve su soğutmalı çevrim üretimlerinin aylara göre değişimi.



Şekil 8. Hava ve su soğutmalı çevrimlerin yıllık enerji üretimleri.



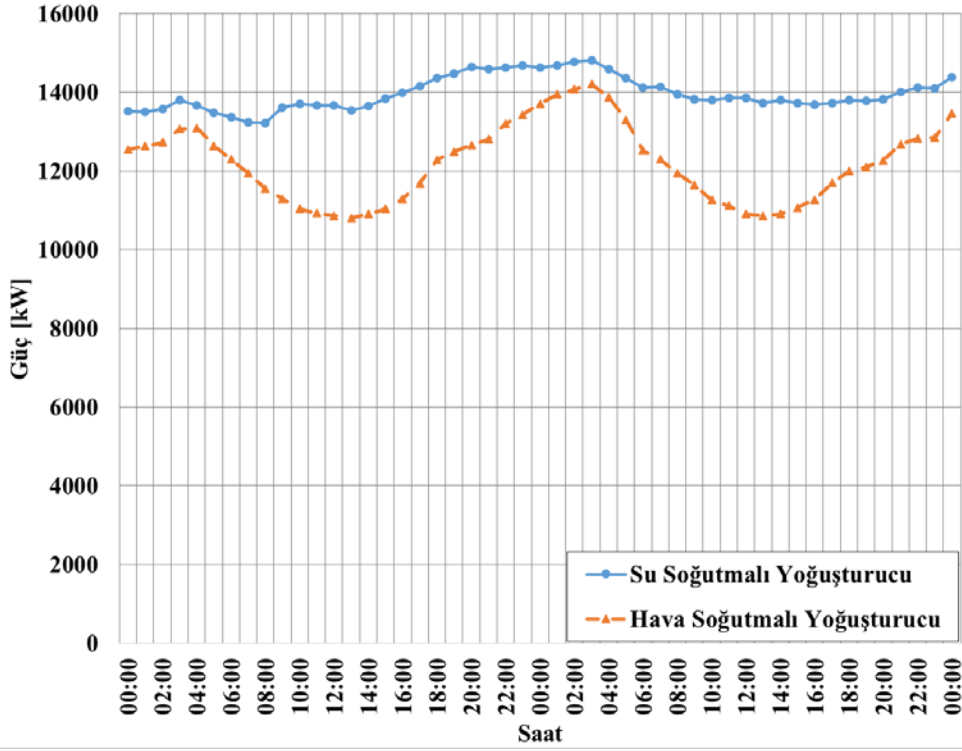
### 3.4 Hava soğutmalı ve su soğutmalı çevrimlerin güç üretimlerinin saatlik değişimi

Hava soğutmalı yoğuşturucu kullanılan jeotermal elektrik üretim tesislerinde, santral gücü dış hava sıcaklığına bağlı olarak anlık değişimler göstermektedir. Bu bölümde, hava soğutmalı ve su soğutmalı yoğuşturucu kullanılan santrallerdeki çevrim gücünün tipik bir yaz günündeki değişimi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Gün içindeki dalgalanmaların görülebilmesi için, saatlik güç değişiminin hesaplanmasında uzun yıllar ortalama değerleri yerine seçilen tarihteki anlık değerler kullanılmıştır. Seçilen aralık 2 günün sıcaklık ve bağıl nem değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2:** Alaşehir ilçesi sıcaklık ve nem değerlerinin saatlik değişimi.

Saat	12 Ağustos 2017			13 Ağustos 2017		
	Kuru Termometre Sıcaklığı (°C)	Yaş Termometre Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)	Kuru Termometre Sıcaklığı (°C)	Yaş Termometre Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)
00:00	25,1	21	70	17,9	14,4	69
01:00	24,6	21,1	74	16,5	14,2	78
02:00	24	20,7	75	15,7	13,5	79
03:00	21,9	19,3	79	14,9	13,3	84
04:00	21,7	20,1	87	16,9	14,6	79
05:00	24,5	21,4	76	20,4	16	64
06:00	26,7	22	67	25,3	17,4	46
07:00	29	22,8	59	26,7	17,3	39
08:00	31,6	22,9	48	29	18,5	36
09:00	33,3	20,5	31	31	19,3	32
10:00	35	19,9	24	33,5	19,4	26
11:00	35,8	20,1	23	34,5	19	22
12:00	36,2	20,1	22	35,9	19,1	19
13:00	36,6	21	24	36,2	19,8	21
14:00	35,9	20,2	23	35,9	19,4	20
15:00	35	19,1	21	34,8	19,8	24
16:00	33,3	18,3	22	33,4	20,1	29
17:00	30,7	17,3	25	30,6	19,9	37
18:00	26,8	16	32	28,7	19,4	42
19:00	25,5	15,3	33	28	19,4	45
20:00	24,4	14,3	32	26,9	19,2	49
21:00	23,5	14,7	38	24,3	18,1	55
22:00	21	14,4	49	23,4	17,5	56
23:00	19,6	14,1	55	23,2	17,6	58
24:00	17,9	14,4	69	17,9	15,9	70

Görüldüğü gibi, tipik bir yaz gününde gündüz saatlerinde sıcak ve kuru bir hava olmasına karşın, gece 23.00 - sabah 06.00 saatleri arasında yüksek nem değerleri oluşabilmektedir. Bu değerler kullanılarak hesaplanan üretim gücünün saatlere bağlı değişimi ise Şekil 9’da gösterilmiştir. Göz önüne alınan zaman aralığında, hava soğutmalı yoğuşturucu kullanılan güç çevriminde en yüksek güç değeri 14213 kW, en düşük değer 10808 kW olarak hesaplanmıştır. Su soğutmalı yoğuşturucu kullanılan çevrimde ise en yüksek üretim gücü 14825 kW, en düşük değer 13224 kW olmuştur. Hava soğutmalı yoğuşturucuda, yüksek ve düşük değerler arasında %31 fark oluşmuşken, su soğutmalı yoğuşturucu kullanılması halinde yüksek ve düşük değerler arasındaki fark %12 olmuştur.



Şekil 9. Saatlik güç üretiminin yoğuşturucu tipine bağlı olarak değişimi.

#### 4. SOĞUTMA KULESİ SU TÜKETİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Türkiye’de kurulu JES’lerde, soğutma kulesi su tüketiminin çevre kaynaklardan karşılanmasında oluşan güçlükler nedeniyle genellikle hava soğutmalı yoğuşturucu kullanılması tercih edilmektedir. Bu bölümde, göz önüne alınan çevrimin için soğutma kulesi su tüketimi hesaplanarak, jeotermal santralden dönen yoğuşmuş buharın su tüketimini karşılama oranı değerlendirilmiştir.

##### 4.1. Kule Su Tüketim Miktarının Hesaplanması

Soğutma kulesi hava debisi, çevrimin yoğuşma yükü ve havanın kule giriş çıkış entalpi farkına bağlı olarak aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir:

$$\dot{m}_{hava} = \frac{Q_{yoğuşma}}{(h_{çıkış} - h_{giriş})} \quad (1)$$

Soğutma kulesinde birim hava başına buharlaşan su miktarı ise

$$\dot{m}_{su,buharlaşan} = \dot{m}_{hava} \cdot (\omega_{çıkış} - \omega_{giriş}) \quad (2)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Kullanılan su miktarı, kulenin su yenileme ihtiyacı ve çevreye olan saçıntılarda göz önüne alınarak, buharlaşan miktarın %50 fazlası alınabilir:

$$\dot{m}_{su,kullanılan} = 1,50 \cdot \dot{m}_{su,buharlaşan} \quad (3)$$

Çevre havasının kuleyi yağ termometre sıcaklığının 6°C üzerinde ve %98 bağıl nemde terk ettiği kabul edilerek, soğutma kulesi hava debisi ve su tüketiminin aylık değişimi Tablo 3’te verilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere en fazla hava debisinin olduğu ay Ocak ayı olurken; en az hava debisinin olduğu ay

Ağustos ayıdır. En fazla su tüketiminin olduğu ay Temmuz ayı iken; en az su tüketiminin olduğu ay ise Ocak ayıdır. Tablo sonuçlarının değerlendirilmesi ile çevrimden dönen yoğunlaşmış buhar miktarının, soğutma kulesi su gereksiniminin kış aylarında yaklaşık 2/3 'ünü, yaz aylarında ise 1/3 kadarını karşılayabileceği görülmektedir.

**Tablo 3.** Soğutma kulesinin aylara göre hava ve su tüketimi değişimi.

Aylar	Hava miktarı (ton/saat)	Kule besleme suyu miktarı (ton/saat)
Ocak	18518	91,97
Şubat	17477	99,42
Mart	16212	108,54
Nisan	14383	121,97
Mayıs	12368	132,48
Haziran	10764	140,54
Temmuz	10052	148,23
Ağustos	9965	144,35
Eylül	11431	135,44
Ekim	13286	116,28
Kasım	15771	104,01
Aralık	17895	93,74

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada organik Rankine çevrimi kullanılan bir jeotermal elektrik üretim santralinde, dış sıcaklıkların çevrimin net gücü ve verimine etkisi incelenmiştir. Buna ek olarak mevcut sistemde kullanılan hava soğutmalı yoğunlaştırıcı yerine su soğutmalı yoğunlaştırıcı kullanılması durumunda santralin su tüketiminin aylara bağlı olarak değişimi incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen ana sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Santralde güç üretimi en fazla kış aylarında olup; en düşük güç üretimi yaz aylarında gerçekleşmektedir.
- Yaz aylarında jeotermal akışkanın geri-basım kuyusuna dönüş sıcaklığı yüksek değerlerde iken; kış aylarında bu değer düşüktür.
- Su soğutmalı yoğunlaştırıcı kullanılması durumunda, yaz aylarındaki üretim kaybı daha düşük seviyede olup, yıllık toplam enerji üretimi %7,4 daha fazladır.
- Seçilen yaz günleri için yapılan analizde, çevrimden elde edilen gücün öğle saatlerinde gece değerine göre, hava soğutmalı çevrimde %31; su soğutmalı çevrimde ise %12 oranında azaldığı görülmüştür.
- Çevrimden dönen yoğunlaşmış buhar, soğutma kulesi su gereksiniminin kış aylarında yaklaşık 2/3'sini, yaz aylarında ise 1/3 kadarını karşılayabilmektedir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, Manisa ili Alaşehir ilçesi için uzun yıllar ortalama aylık değerlerini ve saatlik sıcaklık ve bağıl nem değerlerini sağlayan ve kullanılmasına izin veren Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ve Manisa Meteoroloji İstasyon Müdürlüğü'ne teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- [1] Lu X, Zhao Y, Zhu J, Zhang W. Optimization and applicability of compound power cycles for enhanced geothermal systems. Appl Energy 2018;229:128–41. doi:10.1016/j.apenergy.2018.07.033.
- [2] Coskun A, Bolatturk A, Kanoglu M. Thermodynamic and economic analysis and optimization of power cycles for a medium temperature geothermal resource. Energy Convers Manag 2014;78:39–49. doi:10.1016/j.enconman.2013.10.045.
- [3] Wei D, Lu X, Lu Z, Gu J. Performance analysis and optimization of organic Rankine cycle (ORC) for waste heat recovery. Energy Convers Manag 2007;48:1113–9. doi:10.1016/j.enconman.2006.10.020.
- [4] Toksoy M, Serpen U, Aksoy N. DORA-1 Jeotermal Enerji Santralinde Dış Sıcaklığa Göre Performans Değişimi. Jeotermal Enerj. Elektr. Üretimi Semin., İzmir: 2007, p. 356.
- [5] Serpen U, Türkmen N. Kızıldere Jeotermal Santralinin 23 Yıllık Performansının Değerlendirilmesi. Jeotermal Enerj. Elektr. Üretimi Semin., İzmir: 2007, p. 356.
- [6] [https://tr.wikipedia.org/wiki/Kapalı\\_çevrim\\_soğutma\\_kulesi](https://tr.wikipedia.org/wiki/Kapalı_çevrim_soğutma_kulesi), Erişim tarihi 15.02.2019.

## ÖZGEÇMİŞ

### Anıl ERDOĞAN

1992 yılı Ankara doğumludur. 2015 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini tamamlamıştır. 2017 yılında aynı Üniversitede yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. Halen aynı üniversitede doktora eğitimine devam etmektedir. Isı değiştiricisi tasarımı, organik Rankine Çevrimi, Jeotermal, Güneş Enerjisi ve Yakıt Pili konularında çalışmaktadır.

### Serhan KÜÇÜKA

1983 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversitede 1985 yılında Yüksek Lisans ve 1993 yılında Doktora eğitimini tamamlamıştır. 1997 yılından beri DEÜ Mühendislik Fakültesinde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. TESKON kongrelerinde birçok kez yürütme kurulu üyesi olarak görev almıştır. Çalışma konuları Soğutma Tekniği, Jeotermal Enerji ve Güneş Enerjisidir.