

Jeotermal Enerji Destekli Güç ve Temiz Su Üretim Sisteminin İncelenmesi ve Termodinamik Analizi

*¹Fatih YILMAZ(0000-0002-4401-4266)

¹Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü,
fatihyilmaz@aksaray.edu.tr, fatiyilmaz7@gmail.com

Geliş Tarihi: 07.12.2017

Kabul Tarihi: 31.05.2018

Öz

Bu çalışmada, jeotermal enerji destekli güç ve deniz suyundan temiz su üretim çevrimi önerilmiş ve termodinamik analizi incelenmiştir. Çevrimin genel enerji ve ekserji verimleri araştırılmıştır. Bu bağlamda, çevrimdeki her bir elemana kütle, enerji, entropi ve ekserji denge bağıntı yöntemleri uygulanmıştır. Sistem organik Rankine çevrimi (ORC) ve tek kademeli distilasyon ünitesinden meydana gelmektedir. Aracı akışkan olarak ORC çevriminde çevre dostu CO₂ akışkanı tercih edilmiştir. Deniz suyundan temiz su üretimi için tek kademeli distilasyon ünitesi kullanılmıştır. Jeotermal enerji kullanılarak, çevrimden elde edilecek olan güç üretiminin aynı seviyede tutulması amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışmada çevrimin genel enerji ve ekserji verimleri sırasıyla %10.18 ve %56.83 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Distilasyon, enerji, ekserji, jeotermal

Investigation and thermodynamic Analysis of Geothermal Based Power and Fresh Water Production System

*¹Fatih YILMAZ (0000-0002-4401-4266)

¹Aksaray University of Technical Sciences Vocational School, Department of Electricity and Energy

Abstract

In this study, geothermal based power and fresh water production from sea water of the system proposed and thermodynamically analyzed. The overall energy and exergy efficiencies of cycle is investigated. In this regard, the mass, energy, entropy and exergy balances for the components of cycle are presented. This system consists of two subsystem such as organic Rankine cycle (ORC) and flash distillation unit. The environmentally friend CO₂ is used as working fluid in ORC. In order to keep the generated energy at the same level, geothermal energy is used. In the proposed study, the overall energy and exergy efficiencies are calculated as 10.18% and 56.83% respectively.

Keywords: distillation, energy, exergy, geothermal

1.GİRİŞ

Fosil kökenli yakıtların kullanımı günümüzde birçok çevresel sorunlar oluşturmaktadır. Bu sorunlar içerisinde temel olarak bu yakıtların sürdürülebilirliği, onların çevreye ve sağlık üzerine etkileri daha öne çıkmaktadır. Bu yakıtların yanması sonucunda oluşan CO₂, NO_x, SO_x gibi gazlar özellikle çevre üzerine olan etkileri son yıllarda tartışılan konuların başında gelmektedir [1]. Çevresel sorunlarla beraber fosil kökenli yakıtların ilerleyen yıllarda rezervlerinin tükeneceği göz önüne alınırsa, dünyada ve ülkemizde bu yakıt türlerinden vazgeçilip yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimin artması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevreye herhangi bir zararlı salınım meydana getirmemesi ve dışarıya bağımlı olmaması gibi birçok avantajları mevcuttur. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Dünya genelinde jeotermal enerjini kaynak sıcaklığı, jeotermal kaynağa bağlı olarak 50 °C'den 350 °C'ye kadar değişiklik gösterebilmektedir [2]. Bu enerji kaynağı dünya üzerinde bol ve kararlı sıcaklık aralıklarında olduğu için güç üretim çevrimlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle 220 °C'den yüksek olan jeotermal su elektrik üretimi için daha uygundur. Düşük ve orta sıcaklık aralıklarındaki jeotermal su ise Organik Rankine çevrimlerinde (ORC) kullanılmaktadır [2, 3]. ORC çevrimleri 150 °C ve daha düşük sıcak kaynaklarda elektrik üretimi yapabilen bir teknolojidir. ORC çevrimleri buharlı güç çevrimlerinin aksine daha düşük maliyet gerektiren ve aracı akışkan olarak doğal soğutucu akışkanların kullanıldığı sistemlerdir. Bu çevrimlerde sıcak kaynak olarak genellikle güneş enerjisi, atık ısı, jeotermal enerji vb. kaynaklar kullanılabilir [4]. Ülkemiz açısından bakıldığında ise jeotermal enerji oldukça iyi bir noktadadır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde jeotermal enerji destekli güç üretim çevrimleri ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Ezzat ve Dinçer [5], yeni güneş ve jeotermal enerji destekli sistemin enerji ve ekserji analizlerini incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada çoklu üretim yapan bir sistemin enerji ve ekserji verimleri incelenmiş ve tüm sistemin enerji ve ekserji verimleri sırasıyla %69.6 ve %42.8 olarak bulunmuştur. Esfahani ve Yoo[6] üç farklı kojenerasyon güç ve temiz su üretim sistemlerinin ekserji verimleri yönünden incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, absorpsiyon soğutmalı kojenerasyon sisteminin en iyisi olduğu öne sürülmüştür. El Emam ve Dinçer [7], jeotermal enerji destekli rejeneratif ORC çevriminin termodinamik ve ekonomik analizini yapmışlardır. Çevrimin enerji ve ekserji verimleri sırasıyla %16.37 ve %48.8 olarak hesaplanmıştır. Yıldırım ve Genç [8], jeotermal enerji temelli süt pastörizasyon prosesinin performansını termodinamik

açısından incelemişlerdir. Tüm sistemin ekserji verimi ve ekserji yıkımı sırasıyla %56.81 ve 13.66 kW olarak hesaplanmıştır. Jeotermal enerji destekli güç üretim sistemlerinin enerji, ekserji ve maliyet analizleri ile ilgili literatürde bazı çalışmalar [9-12] mevcuttur. Burada jeotermal enerji sıcak kaynak girişi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada genellikle jeotermal enerji destekli güç ve hidrojen üretim potansiyelleri araştırılmıştır.

Ele alınan bu çalışmada, jeotermal enerji destekli güç ve temiz su üretim prosesinin termodinamik analizi incelenmiştir. Güç çevrimi olarak ele alınan ORC çevriminde aracı akışkan olarak CO₂ kullanılmıştır. Aynı zamanda bu çalışmada, deniz suyunun distilasyonu sonucunda temiz su üretimi araştırılmıştır. Sistemin ihtiyaç duyduğu enerjinin doğalgazdan karşılanması durumunda ortaya çıkacak olan CO₂ emisyon değeri araştırılmıştır. Sistemin tüm termodinamik hesaplamalarında Engineering Equation Solver (EES) adlı paket program kullanılmıştır.

2. METOD

2.1. Jeotermal Destekli Güç Çevrimi

Jeotermal enerjinin çıkış sıcaklıkları kurulu oldukları bölgelere göre değişiklik göstermektedir. Ülkemizde elektrik üretmek amacıyla kullanılan jeotermal santrallerin isimleri ve çıkış sıcaklıkları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Türkiye'de jeotermal santraller ve sıcaklıkları [13]

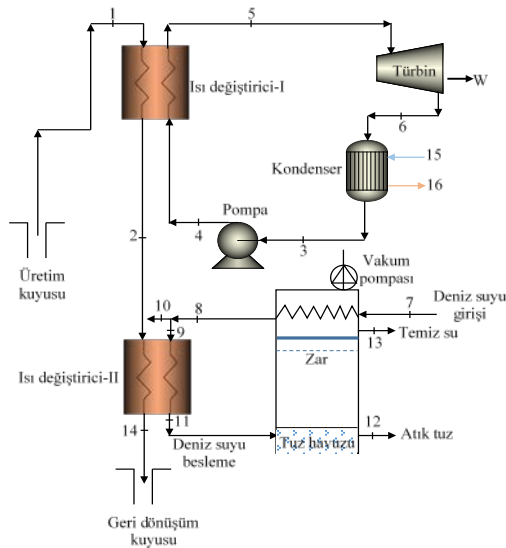
İl	İlçe	Jeotermal sıcaklığı °C
Manisa	Salihli	287
Denizli	Kızıldere	242
Manisa	Kavaklıdere	215
Aydın	Ömerbeyli	232
Aydın	Salavatlı	176
Çanakkale	Tuzla	174
Kütahya	Simav	184
İzmir	Seferihisar	153
Manisa	Caferbeyli	168
Aydın	Yılmazköy	142
Aydın	Umurlu	130
İzmir	Dikili	120
İzmir	Balçova	125

Jeotermal enerji destekli güç ve temiz su üretim prosesinin şematik gösterimi Şekil 1'de sunulmuştur. Ele alınan bu çevrimde, 1 noktasından gelen jeotermal enerji, ısı değiştiricisi-I'e girerek ısısını 4 noktasından gelen ORC akışkanına aktarır. ORC çevriminde pompa çıkışında doymuş sıvı olan CO₂ akışkanı ısı değiştiricisi-I'de jeotermal enerjiden aldığı ısı enerjisi ile birlikte 5 noktasında buhar fazına geçerek ORC türbinine gelir. Türbinde elektrik

üretimi meydana gelir. Sistem kapalı döngü olarak çalışmasına devam eder. Bu sistemin çalışma şekli buhar akışkanlı güç çevrimleri ile aynıdır. Çevrimdeki ısı değiştiricisi II ise yaklaşık çevre sıcaklığında distilasyon ünitesine giren deniz suyunun buharlaşmasını sağlayarak temiz su üretimini gerçekleştirir. Jeotermal enerji daha sonra 14 noktasından tekrar geri dönüşüm kuyusuna gider. Tek kademeli distilasyon ünitesi, tuzlu su ısıtıcısı ve dengeleme odasından oluşmaktadır. Denge odasında ise suyun yoğunlaşması ve bu yoğunlaşan sudan temiz su ayırıştırıcı olan zar bulunmaktadır. Denge odasının alt kısmında ise tuz havuzu bulunmaktadır. Tek kademeli distilasyon ünitesi ortalama 90 °C ve altı sıcaklık aralıklarında çalışmaktadır. Deniz suyu yaklaşık 22 °C'de distilasyon ünitesine girer ve sonrasında ısı değiştiricisi II'ye girerek burada jeotermal enerjiden gelen ısı ile yaklaşık 48 °C sıcaklığa ulaşır. Sıcaklığı artan deniz suyu devamında distilasyonu ünitesinde düşük basınçta yoğunlaşır ve temiz su üretimi gerçekleşir. Distilasyon ünitesi açık çevrim yöntemine göre çalışmaktadır. Bu çalışmada deniz suyundan temiz su üretimi için tek kademeli flaş distilasyon ünitesi ele alınmıştır. Distilasyon ünitesi hesaplamalarında yapılan bazı kabuller aşağıda verilmiştir [14,15];

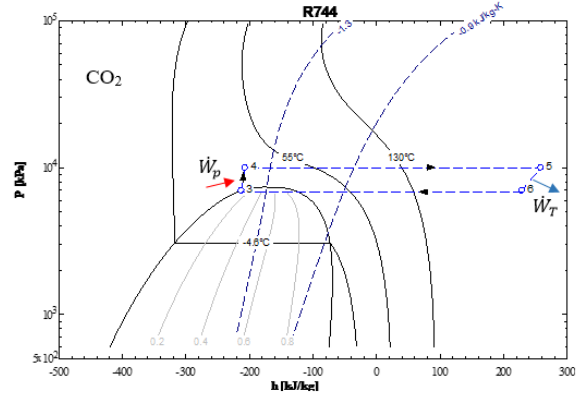
- Deniz suyunun özgül ısısı 4.18 kJ/kg-K alınmıştır.
- Distilasyon ünitesinden elde edilen temiz su içerisinde tuz miktarı içermemektedir.
- Sistemden çevreye olan ısı kaybı ihmal edilmiştir.
- Deniz suyunun tuzluluk oranı 42000 ppm alınmıştır.

Distilasyon ünitesinin tasarımında kaynak [14, 15]'den faydalanılmıştır.



Şekil 1. Jeotermal enerji destekli güç ve temiz su üretim çevrimi

Şekil 2'de jeotermal destekli güç çevrimi olan CO₂ akışkanlı süperkritik ORC çevriminin P-h diyagramı verilmiştir.



Şekil 2. CO₂ akışkanlı süperkritik ORC çevriminin p-h diyagramı

3. TERMODİNAMİK ANALİZ

Çalışmanın bu bölümünde, enerji ve ekserji metotları kullanılarak termodinamik yönden sistemin değerlendirilmesi ele alınmıştır. Ele alınan bu sistemde termodinamik analizler dört temel yöntemle göre gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemler; a) kütle dengesi, b) enerji dengesi, c) entropi dengesi ve d) ekserji dengesidir [16-18].

Kütle Dengesi

Düzenli akışlı kararlı sistemlerde kütle dengesi aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \quad (1)$$

Burada “ \dot{m} ” kütle akış debisini, “ g ” ve “ $ç$ ” alt indisler ise sırasıyla giren ve çıkan kütleyi tanımlar.

Enerji Dengesi

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{H}_ç - \sum \dot{H}_g \quad (2)$$

Eşitlik (2)'de termodinamiğin birinci kanununda kinetik ve potansiyel enerjilerin ihmal edilmesi sonucunda ki durumu verilmiştir. Burada, \dot{Q} , \dot{W} ve H ifadeleri sırasıyla ısı transfer miktarını, iş ve entalpiyi tanımlar.

Entropi Dengesi

$$\sum \dot{m}_g s_g + \sum \left(\frac{\dot{Q}}{T} \right)_g + \dot{S}_{\text{ür}} = \sum \dot{m}_c s_c + \sum \left(\frac{\dot{Q}}{T} \right)_c \quad (3)$$

Burada s spesifik entropiyi, $\dot{S}_{\text{ür}}$ entropi üretimini ve T Kelvin cinsinden sistem sıcaklığını tanımlar.

Ekserji Dengesi

$$\sum \dot{m}_g ex_g + \sum \dot{E}x_g^Q + \sum \dot{E}x_g^W = \sum \dot{m}_c ex_c + \sum \dot{E}x_c^Q + \sum \dot{E}x_g^W + \dot{E}x_D \quad (4)$$

Burada, ex spesifik ekserjiyi, $\dot{E}x_g^Q$ ısı transferi ile gerçekleşen ısının ekserjisini, $\dot{E}x_g^W$ üretilen işin ekserjisini ve $\dot{E}x_D$ ise ekserji yıkımını tanımlar. Spesifik ekserji ise aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$ex = ex_f + ex_k + ex_p + ex_{kn} \quad (5)$$

Eşitlik (5)'de ex_f , ex_k , ex_p ve ex_{kn} sırasıyla fiziksel, kimyasal, potansiyel ve kinetik ekserjileri tanımlar. Genel olarak bu çalışmada potansiyel, kinetik ve kimyasal ekserjiler ihmal edilmiştir. Fiziksel ekserji ise aşağıdaki şekilde detaylandırılır;

$$ex_f = h - h_0 - T_0(s - s_0) \quad (6)$$

Ekserji, kontrol hacimlerde sistemin çevresi ile olan ısı ve iş üretimleri ile orantılıdır.

$$\dot{E}x_Q = \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \dot{Q} \quad (7)$$

$$\dot{E}x_W = \dot{W} \quad (8)$$

Distilasyon ünitesinin genel termodinamik dengesi aşağıdaki şekilde yazılabilir [15];

$$\dot{m}_{ds} = \dot{m}_{ct} + \dot{m}_{ts} \quad (9)$$

$$X_{ds} \dot{m}_{ds} = X_{cs} \dot{m}_{ct} \quad (10)$$

Burada “ds” , “ct” ve “ts” sırasıyla deniz suyu, konsantre su ve distilasyon sonunda oluşan temiz su kütlelerini tanımlar. X_{ds} ve X_{cs} sırasıyla deniz suyunun ve konsantre suyun tuzluluk oranını ifade eder. Deniz suyunun tuzluluk oranı 42000 ppm olarak kabul edilmiştir.

$$\dot{m}_2 h_{sb,su} = \dot{m}_{ds} cp(T_{11} - T_9) \quad (11)$$

$$\dot{m}_{ts} h_{b,su} = (\dot{m}_{ss} + \dot{m}_{ds}) cp((T_{11} - T_{ss})) = \dot{m}_{ds} cp(T_{11} - T_{ct}) \quad (12)$$

Burada T_{ct} ve T_{ss} konsantre tuz sıcaklığını ve soğuk su 10 noktasının sıcaklığını tanımlar.

Önerilen bu çalışmadaki sistem alt bileşenlerinin genel termodinamik bağıntıları genel kütle, enerji, entropi ve ekserji dengeleri sürekli akışlı kararlı sistemler için aşağıdaki şekilde yazılabilir;

Isı Değiştirici I;

$$\text{Kütle: } \dot{m}_1 = \dot{m}_2; \dot{m}_4 = \dot{m}_5 \quad (13)$$

$$\text{Enerji: } \dot{Q}_{ID,I} = \dot{m}_1(h_1 - h_2) = \dot{m}_4(h_4 - h_5) \quad (14)$$

$$\text{Entropi: } \dot{m}_1 s_1 + \dot{m}_4 s_4 + \dot{Q}_{ID,I}/T_{ID,I} + \dot{S}_{\text{ür,ID,I}} = \dot{m}_2 s_2 + \dot{m}_5 s_5 \quad (15)$$

$$\text{Ekserji: } \dot{m}_1 ex_1 + \dot{m}_4 ex_4 + \dot{E}x_{ID,I}^Q = \dot{m}_2 ex_2 + \dot{m}_5 ex_5 + \dot{E}x_{D,ID,I} \quad (16)$$

Türbin;

$$\text{Kütle: } \dot{m}_5 = \dot{m}_6 \quad (17)$$

$$\text{Enerji: } \dot{m}_5 h_5 = \dot{m}_6 h_6 + \dot{W}_T \quad (18)$$

$$\text{Entropi: } \dot{m}_5 s_5 + \dot{S}_{\text{ür,T}} = \dot{m}_6 s_6 \quad (19)$$

$$\text{Ekserji: } \dot{m}_5 ex_5 = \dot{m}_6 ex_6 + \dot{W}_T + \dot{E}x_{D,T} \quad (20)$$

Kondenser:

$$\text{Kütle: } \dot{m}_6 = \dot{m}_3; \dot{m}_{15} = \dot{m}_{16} \quad (21)$$

$$\text{Enerji: } \dot{Q}_{kon} = \dot{m}_6(h_6 - h_3) = \dot{m}_{15}(h_{16} - h_{15}) \quad (22)$$

$$\text{Entropi: } \dot{m}_6 s_6 + \dot{m}_{15} s_{15} + \dot{S}_{\text{ür,kon}} = \dot{m}_3 s_3 + \dot{m}_{16} s_{16} \quad (23)$$

$$\text{Ekserji: } \dot{m}_6 ex_6 + \dot{m}_{16} ex_{16} = \dot{m}_3 ex_3 + \dot{m}_{16} ex_{16} + \dot{E}x_{D,kon} \quad (24)$$

Pompa:

$$\text{Kütle: } \dot{m}_3 = \dot{m}_4 \quad (25)$$

$$\text{Enerji: } \dot{m}_3 h_3 + \dot{W}_P = \dot{m}_4 h_4 \quad (26)$$

$$\text{Entropi: } \dot{m}_3 s_3 + \dot{S}_{\text{ür,P}} = \dot{m}_4 s_4 \quad (27)$$

$$\text{Ekserji: } \dot{m}_3 ex_3 + \dot{W}_P = \dot{m}_4 ex_4 + \dot{E}x_{D,P} \quad (28)$$

Isı Değiştirici II;

$$\text{Kütle: } \dot{m}_2 = \dot{m}_{14}; \dot{m}_9 = \dot{m}_{11} \quad (29)$$

$$\text{Enerji: } \dot{Q}_{ID,II} = \dot{m}_{11}(h_9 - h_{11}) = \dot{m}_2(h_2 - h_{14}) \quad (30)$$

$$\text{Entropi: } \dot{m}_2 s_2 + \dot{m}_9 s_9 + \dot{Q}_{ID,II}/T_{ID,II} + \dot{S}_{\text{ür,ID,II}} = \dot{m}_{11} s_{11} + \dot{m}_{14} s_{14} \quad (31)$$

$$\text{Ekserji: } \dot{m}_2 ex_2 + \dot{m}_9 ex_9 + \dot{E}x_{ID,II}^Q = \dot{m}_{11} ex_{11} + \dot{m}_{14} ex_{14} + \dot{E}x_{D,ID,II} \quad (32)$$

Distilasyon ünitesinin performans oranı (PO) aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$PO = \frac{\dot{m}_{13}}{\dot{m}_2} \quad (33)$$

Çevrimin genel enerji ve ekserji verimleri denklem (34) ve (35) de verilmiştir.

$$\eta_{\text{çevrim}} = \frac{\dot{W}_{net} + \dot{m}_{H_2O}(\Delta h)}{\dot{Q}_g} \quad (34)$$

$$\Psi_{\text{çevrim}} = \frac{\dot{W}_{net} + \dot{m}_{H_2O}(\Delta h)}{\dot{E}x_g^Q} \quad (35)$$

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada jeotermal enerji destekli ORC çevriminden güç üretimi ve deniz suyundan temiz su üretimi incelenmiştir. Çevrimde aracı akışkan olarak çevre dostu olan CO₂ akışkanı kullanılmıştır. Aynı zamanda jeotermal enerjinin ısısından tekrar yararlanılarak tek kademeli distilasyon ünitesi ile deniz suyundan temiz su elde edilmesi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada, tüm hesaplamalar için EES paket programı tercih edilmiştir [19]. Sistemin tasarım parametreleri Tablo 2’de sunulmuştur. Tablo 2’ye ek olarak termodinamik hesaplamalar için aşağıdaki kabuller yapılmıştır;

- Sistemde herhangi bir kimyasal reaksiyon gerçekleşmemektedir.
- Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmiştir.
- Çevreyle olan ısı kayıpları ihmal edilmiştir.

Tablo 2. Sistem tasarım parametreleri

Parametreler	Değer
Jeotermal çıkış sıcaklığı	100-180 °C
Türbin izantropik verimi	%80
Pompanın izantropik verimi	%80
Soğutucu akışkan miktarı	10 kg/s
Deniz suyunun tuzluluk miktarı	42000 ppm
Referans çevre sıcaklığı	25 °C
Referans çevre basıncı	100 kPa

Tablo 2’deki değerlere göre yapılan termodinamik hesaplamalar sonucunda sistemin her bir noktasının değerleri Tablo 3’de sunulmuştur. 150 °C jeotermal çıkış sıcaklığında çevrimden 241 kW net güç elde edilmektedir. Sistemin genel enerji ve ekserji verimleri ise % 10.18 ve % 56.83 olarak hesaplanmıştır. Aynı şartlar altında entegre sistemde 7.23 kg/s temiz su elde edilmiştir.

Tablo 3. Sistemin termodinamik analiz sonuçları

Nokt a#	P (kPa)	T(° C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-°C)	ṁ (kg/s)	Ẃ (kW)
1	600	150	632,4	1,842	50	4389
2	600	90	377,3	1,192	50	1323
3	7000	28,68	-212,9	-1,43	10	2138
4	10000	37,35	-207,2	-1,426	10	2184

5	10000	314,8	258,5	-0,2512	10	3339
6	7000	282,6	228,7	-0,2377	10	3000
7	100	22	92,29	0,3246	187,5	11,73
8	100	30,5	127,8	0,4434	187,5	39,11
9	100	30,5	127,8	0,4434	182,4	38,06
10	100	30,5	127,8	0,4434	5,067	1,057
11	100	48,5	203,1	0,6842	182,4	671,3
12	10	30	125,7	0,4365	175,2	14,42
13	10	35	146,6	0,5056	7,233	4,303
14	600	60	251,6	0,8309	50	423,6

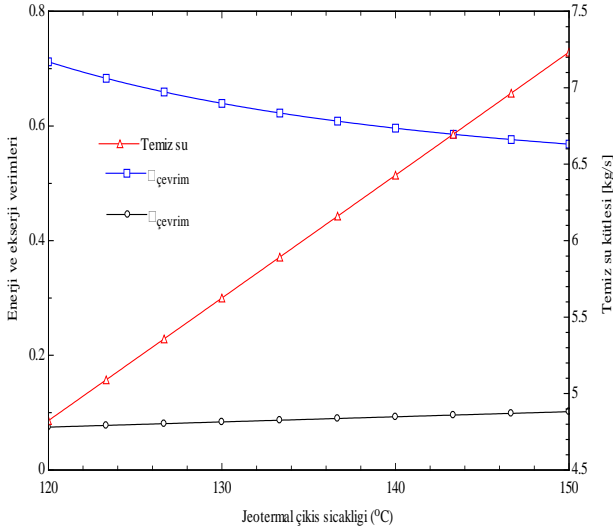
Sistem elemanlarının ekserji yıkımları, ekserji yıkım oranları ve ekserji verimleri 150 °C jeotermal çıkış sıcaklığında hesaplanmış ve Tablo 4’de sunulmuştur. Sistemin toplam ekserji yıkımı 3724 kW’tır. Sistem elemanları içerisinde en yüksek ekserji yıkımı 1911 kW ile ısı değiştiricisi-I’de görülmüştür. En küçük ekserji yıkımı ise ORC pompasında görülmektedir. Isı değiştiricileri ve kondenserdeki ekserji yıkımlarının yüksek olması, bu elemanlardaki ısı değişiminin fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 4. Sistemin elemanlarının ekserji yıkım miktarları ve ekserji verimleri

Sistem elemanları	Ekserji yıkım miktarı (kW)	Ekserji yıkım oranı (%)	Ekserji verimi (%)
Isı Değiştiricisi-I	1911	51.45604	70.93
Türbin	40.27	1.08432	88.11
Kondenser	860.4	23.16733	71.34
Pompa	10.88	0.292957	80.79
Isı Değiştiricisi-II	266.3	7.170457	80.44
Distilasyon ünitesi	625	16.8289	8.46

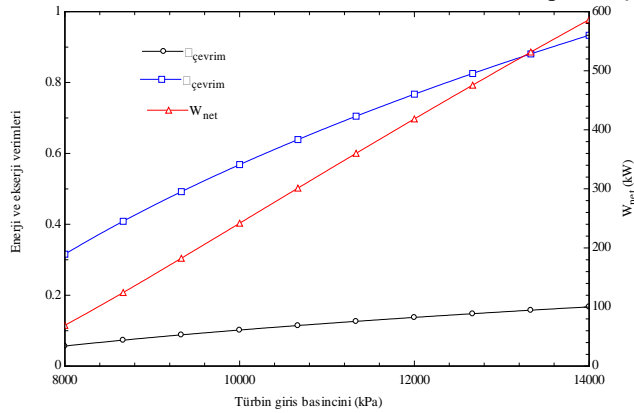
Jeotermal enerji çıkış sıcaklığının değişiminin, sistemin enerji, ekserji verimlerine ve temiz su üretim miktarı üzerine etkisi incelenmiş ve Şekil 3’de sunulmuştur. Şekil 3’de görüldüğü gibi, jeotermal sıcaklığın 120 °C’den 150 °C’ye artırılması sonucunda sistemin enerji veriminde artış

görülürken, ekserji veriminde ise düşüş görülmektedir. Ayrıca distilasyon sonucunda üretilen temiz su miktarının arttığı görülmektedir.



Şekil 3. Jeotermal çıkış sıcaklığının sistemin enerji ve ekserji verimleri üzerine etkisi

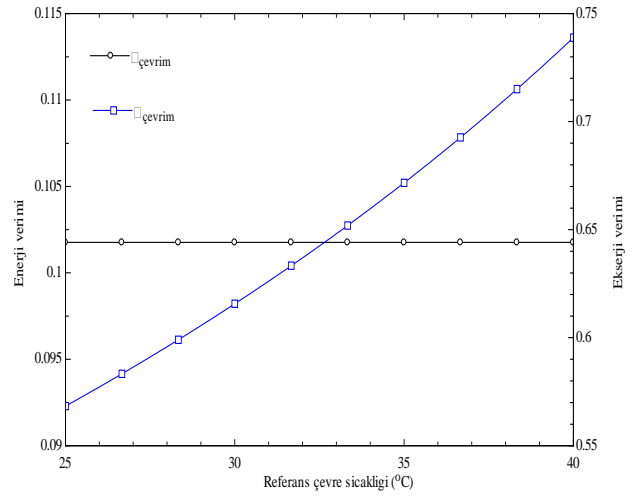
Şekil 4'de ORC'nin türbin giriş basıncının sistemden elde edilen net iş, çevrimin genel enerji ve ekserji verimlerine etkisi incelenmiştir. Türbin giriş basıncı 8000 kPa'dan 14000 kPa'a arttığında çevrimin genel enerji ve ekserji verimlerinin arttığı görülmektedir. Türbin basıncın artması sonucunda elde edilen net iş miktarında artış görülmüştür. Jeotermal enerji çıkış sıcaklığı 150 °C'de ve türbin giriş basıncı 10000 kPa'da çevrimin genel enerji ve ekserji verimleri % 10.18 ve % 56.83 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. Türbin giriş basıncının sistemin enerji ve ekserji verimleri üzerine etkisi

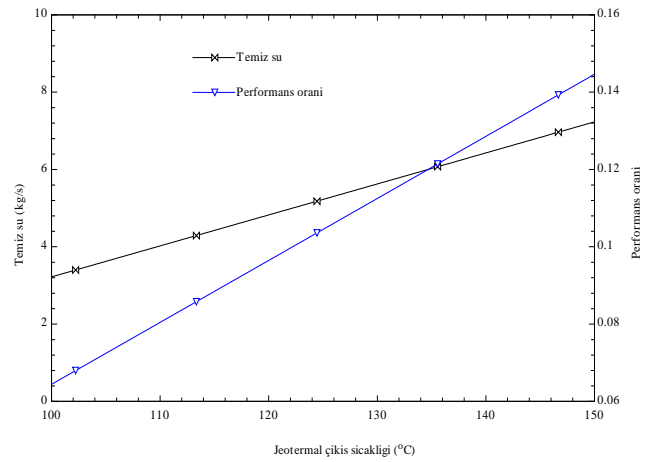
Referans çevre sıcaklığının değişiminin çevrimin genel enerji ve ekserji verimlerine etkisi incelenmiş ve Şekil 5'de verilmiştir. Referans çevre sıcaklığı 25 °C'den 40 °C'ye arttığında çevrimin ekserji verimi ise %56.83'den %73.88'e artmıştır. Referans çevre sıcaklığının beklenildiği gibi

sistemin enerji verimi üzerine etkisinin olmadığı görülmüştür.



Şekil 5. Referans çevre sıcaklığının değişiminin çevrimin enerji ve ekserji verimlerine etkisi

Şekil 6'de jeotermal kaynaktan çıkan akışkanın sıcaklık değişiminin distilasyon ünitesinin performansına ve elde edilen temiz su miktarı üzerine etkisi incelenmiştir. Jeotermal enerji kaynak sıcaklığının artması sonucunda elde edilen temiz su oranı da artmaktadır. Jeotermal enerji kaynak sıcaklığındaki artış, distilasyon ünitesinin performansı üzerine olumlu etkisi olduğundan elde edilen temiz su miktarı da artmaktadır.

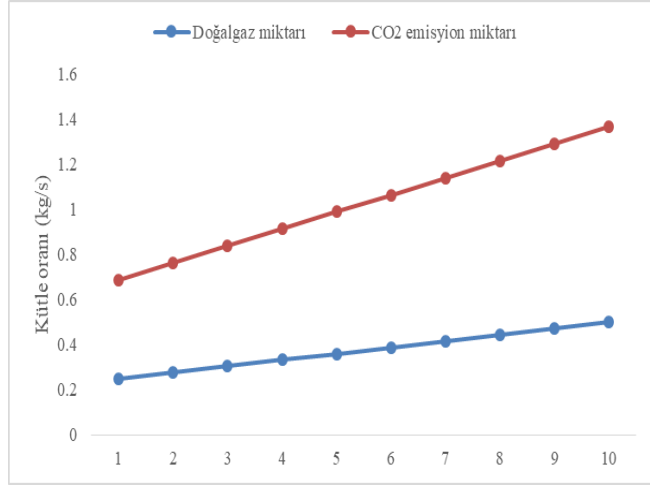


Şekil 6. Jeotermal çıkış sıcaklığının distilasyon ünitesinin performansına ve temiz su üretimine etkisi.

Bu çalışmada, eğer ısı kaynağı olarak jeotermal enerjinin yerine, doğalgaz tercih edilmesi durumunda CO₂ salınım miktarı incelenmiş ve Şekil 7'de sunulmuştur. Yapılan çalışmada ısı değiştiricisi-I'den sisteme 12752 kW ısı

enerjisi girmektedir. Buna karşılık yakıt olarak doğalgaz kullanılmış olması durumunda atmosfere salınan CO₂ miktarı incelenmiştir.

Doğalgazın yanma verimi bu çalışmada 0.85 olarak kabul edilmiş ve 0.49 kg/s doğalgaz miktarına karşılık atmosfere salınan CO₂ emisyon miktarı 1.3 kg/s olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. Doğalgaz ve CO₂ emisyon miktarı

5.SONUÇLAR

Ele alınan bu çalışmada, jeotermal enerji destekli güç ve temiz su üretim çevriminin termodinamik analizi, enerji ve ekserji yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Çevrimin her bir alt elemanlarına genel kütle, enerji, entropi ve ekserji bağıntı yöntemleri uygulanmıştır. Yapılan bu çalışmada ORC çevrimi ve deniz suyundan temiz su üretimi için tek kademeli distilasyon ünitesi incelenmiştir. ORC çevriminde aracı akışkan olarak çevre dostu CO₂ akışkanı seçilmiştir. Yapılan termodinamik hesaplamalar sonucunda elde edilen bazı önemli sonuçlar aşağıda kısaca sunulmuştur;

- Çevrimin genel enerji ve ekserji verimleri sırasıyla % 10.18 ve % 56.83 olarak hesaplanmıştır.
- Çevrimden 241 kW net iş üretimi gerçekleştirilmektedir.
- Çevrimin toplam ekserji yıkımı 3714 kW olarak hesaplanmıştır.
- Çevrimde en yüksek ekserji yıkım miktarı 1911 kW ile ısı değiştiricisi-I'de görülürken, en düşük ekserji yıkım miktarı ise 10.88 kW ile pompa 'da görülmüştür.
- Jeotermal enerji çıkış sıcaklığının artması sonucunda çevrimden elde edilen temiz su miktarı artmaktadır.

- Bu sistemden 7.23 kg/s temiz su üretimi gerçekleştirilmektedir.
- Türbin giriş basıncı artırıldığında çevrimden elde edilen net iş artmaktadır.
- Çevrimin ısı ihtiyacını karşılamak için, yakıt olarak doğalgaz kullanımı durumunda çevrimden 1.02 kg/s atmosfere salınan CO₂ miktarının önüne geçilmiştir.

Bu çalışma vasıtasıyla, jeotermal enerji bakımından zengin, deniz ve okyanus kenarlarındaki ülkelerde ilerleyen yıllarda yapılacak olan deneysel çalışmalara yol gösterici nitelikte olması beklenmektedir.

REFERANSLAR

- [1] Ezzat, M.F., Dincer, I., Energy and exergy analyses of a new geothermal-solar energy based system Solar Energy 134, 95–106 (2016)
- [2] Hettiarachchi HDM, Golubovic M, Worek WM, et al. Optimum design criteria for an Organic Rankine Cycle using low- and mediumtemperature geothermal heat sources. Energy 2007; 32:1698–706.
- [3] Tamamoto T, Furuhashi T, Arai N, Mori K. Design and testing of the organic Rankine cycle. Energy 2001; 26:239–51.
- [4] Yılmaz, F. Güneş enerjisi destekli organik Rankine çevriminin Isparta şartlarında incelenmesi, S.D.Ü Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, 2013
- [5] Ezzat, M.F., Dincer, I., Energy and exergy analyses of a new geothermal-solar energy based system, Solar Energy, 134 (2016) 95–106
- [6] Esfahani, I.J., Yoo, C.K., 2013. Exergy analysis and parametric optimization of three power and fresh water cogeneration systems using refrigeration chillers. Energy 59, 340–355.
- [7] El Emam, R.S., Dincer, I., 2013. Exergy and exergoeconomic analyses and optimization of geothermal organic Rankine cycle. Appl. Therm. Eng. 59 (1–2), 435–444.
- [8] Yıldırım, N., Genc, S., Thermodynamic analysis of a milk pasteurization process assisted by geothermal energy, Energy 90 (2015) 987-996
- [9] Ratlamwala TAH, Dincer I, Gadalla MA. Performance analysis of a novel integrated geothermal-based system for multigeneration applications. Appl Therm Eng 2012;40:71-9.
- [10] Akrami E, Chitsaz A, Nami H, Mahmoudi SMS. Energetic and exergoeconomic assessment of a multi-generation energy system based on indirect use of geothermal energy. Energy 2017;124:625-39.
- [11] Coskun C, Oktay Z, Dincer I. Modified exergoeconomic modeling of geothermal power plants. Energy 2011;36:6358-66.
- [12] Yuksel YE, Ozturk M. Thermodynamic and thermoeconomic analyses of a geothermal energy based

integrated system for hydrogen production. *Int J Hydrogen Energy* 2017;42(4):2530-46.

[13] Şahin A., Jeotermal Enerji Yatırımları Açısından Değerlendirme, Jeotermal Enerji ve Türkiye, Mayıs 2013, 1-40

[14] Demir, M.E., Dincer, İ., Development of an integrated hybrid solar thermal power system with thermoelectric generator for desalination and power production, *Desalination* 404 (2017) 59–71

[15] H.T. El-Dessouky, H.M. Ettouney, *Fundamentals of SaltWater Desalination*, Elsevier, 2002, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-044450810-2/50008-7>.

[16] Dincer, I., Rosen, M. A. 2012 “Exergy: energy, environment and sustainable development”, Second Ed.,

Newness,

[17] Moran, M., 1982 “Availability Analysis: A Guide to Efficient Energy Usage”, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall,

[18] Bejan, A., Tsatsaronis, G., Moran, M. 1996. “Thermal Design and Optimization”, New York: Wiley Inter-science.

[19] Klein SA. Engineering equation solver. Academic professional, version 9. www.fchart.com/ees/ees.shtml: 2015.