



JEOTERMAL ENERJİ DESTEKLİ KOMBİNE BİR ÇEVİRİM İLE GÜÇ, HİDROJEN VE SICAK SU ÜRETİMİNİN TASARLANMASI VE TERMODİNAMİK PERFORMANS ANALİZİ

Design And Thermodynamic Performance Analysis Of A Geothermal Energy Based Combined Plant For Production Of Power, Hydrogen And Hot Water

Fatih Yılmaz

ÖZET

Son yıllara, küresel ısınma gibi çevresel sorunların ortaya çıkması ile yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji dönüşüm sistemlerinin önemi artmıştır. Tasarlanan bu çalışmada, teorik olarak jeotermal enerji destekli kombine bir çevrimin güç, hidrojen ve sıcak su üretimi için, tasarımı ele alınmış ve ayrıca termodinamiğinin birinci ve ikinci yasalarına göre kapsamlı bir parametrik analiz gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, yaklaşık 160-220 °C'de jeotermal çıkış sıcaklığında flaş-binary bir sistem transkritik CO₂ akışkanlı güç üretim çevrimi ile entegre edilerek termodinamik performansı incelenmiştir. Tüm sistem ve alt sistemlerin enerji verimliliği, ekserji verimliliği ve ekserji yıkım oranları detaylı şekilde araştırılmıştır. Ayrıca, elde edilen elektriksel gücün bir kısmı ile PEM elektrolizde hidrojen üretimi de incelenmiştir. Kullanım sonrasında yüksek sıcaklıkta olan jeotermal akışkan, yer altına gönderilmeden önce ısıtma amacı için sıcak su üretiminde kullanılarak, tasarlan jeotermal enerji destekli kombine çevrimden daha yüksek oranda verimlilik amaçlanmıştır. Son olarak, tasarlanan bu kombine çevrim ile tekli üretim (sadece güç) çevriminin performans bakımından karşılaştırılması gerçekleştirilerek grafiksel olarak sunulmuştur. Analiz sonuçlarına göre tüm sistemin enerji ve ekserji verimi %29.20 ve %25.32 olarak belirlenmiştir. Toplam ekserji yıkımı 1116 kW olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, ekserji, jeotermal, termoelektrik, multijenerasyon.

ABSTRACT

In recent years, the importance of renewable and sustainable energy conversion systems has increased with the emergence of environmental problems such as global warming. In this modeled study, the design of a theoretically geothermal energy supported combined cycle for power, hydrogen and hot water production is discussed and a comprehensive parametric analysis is carried out according to the first and second laws of thermodynamics. In this study, the thermodynamic performance of a flash-binary system at a geothermal outlet temperature of approximately 160-2200 °C is investigated by integrating it with a transcritical CO₂ fluid power generation cycle. The energy efficiency, exergy efficiency and exergy destruction rates of all systems and subsystems are investigated in detail. In addition, hydrogen production in PEM electrolysis with some of the obtained electrical power is also studied. By using the geothermal fluid, which is at high temperature after use, in the production of hot water for heating purposes before being sent underground, a higher efficiency than the designed geothermal energy supported combined cycle is aimed. Finally, this designed combined cycle and single generation (power only) cycle are compared in terms of performance and presented graphically. According to the analysis results, the energy and exergy efficiency of the whole system is determined as 29.20% and 25.32%. Total exergy destruction is calculated as 1116 kW

Keywords: Energy, exergy, geothermal, thermoelectric, multigeneration

1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji ve artan insanlık nüfusu gibi parametrelere bağlı olarak, gün geçtikçe enerji ihtiyacı artmaktadır. Artan bu enerji ihtiyaçlarının karşılanmasında, fosil kökenli yakıtlar geniş ölçekte tercih edilmekte ve bu yakıtların yanması sonucunda açığa çıkan emisyonlar çevresel açıdan sorun oluşturmaktadır. Dünyada enerji talebi her geçen gün artmakta ve yenilenebilir enerji kaynakları giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Şehirlerde ve toplumlarda sosyal, ekonomik ve kültürel sürdürülebilirlik açısından bakıldığında, şehir tasarımlarında en önemli unsurlardan biri enerji ihtiyacının sürdürülebilir ve verimli bir şekilde karşılanması olacaktır [1]. Bu nedenle artan bu enerji talebinin karşılanması için araştırmacılar sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynakları, çevresel sorunlar ile mücadele etmede en önemli parametrelerden birisi olarak ifade edilebilir. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak başlıca güneş, rüzgâr, jeotermal, biyogaz, ve dalga enerjisi gelir.

Bu bağlamda, jeotermal enerji dünyanın iç kısmındaki (magma) termal enerji olarak tanımlanabilir. Jeotermal enerji elektrik üretiminden sıcak su üretimine veya birçok farkı amaçlar için kullanılabilir. Elektrik üretiminde genel olarak 150 °C üzerindeki yüksek sıcaklık uygulamaları tercih edilebilir. Orta sıcaklık uygulamaları (90-150 °C arası) ve düşük sıcaklık uygulamaları (90 °C altına) olan jeotermal kaynaklar, ev-bina ısıtılması, soğutma, balık çiftlikleri, termal sistemler vb. amaçlar için kullanılabilir [2]. Artan enerji talepleri ve küresel ısınma nedeniyle jeotermal enerji uygulamaları önem kazanmıştır. Ayrıca, jeotermal enerji uygulamalarına ek olarak, bu kaynakların farklı amaçlar üretimi için entegrasyonu da önemlidir. Bu noktada, çoklu-üretim sistemi olarak ifade edilen multijenerasyon çevrimler öne çıkmaktadır.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında, jeotermal enerji destekli kombine sistemler için birçok çalışma mevcuttur. Yılmaz [3] yaptığı çalışmada jeotermal enerji destekli kombine bir sistemi termodinamik ve ekonomik açıdan değerlendirmiştir. Bu sistemde transkritik CO₂ akışkanlı Rankine çevrimi entegre edilmiştir. Analiz sonucuna göre, tüm sistemin enerji ve ekserji verimini %52.01 ve %29.45 olarak hesaplamıştır. Şen vd. [4] güneş ve jeotermal enerji destekli bir sistemin termodinamik analizini incelemişlerdir. Tasarladıkları sistemde yakıt pili ve elektroliz ünitesinin entegrasyonunu araştırmışlardır. Tüm sistemin enerji verimini %5.9 bulurken ekserji verimini ise %19 olarak hesaplamışlardır.

Koç vd. [5] jeotermal enerji destekli multijenerasyon çevrimin termodinamik ve ekserji-ekonomik analizini incelemişlerdir. Bu çalışma farklı alt sistemlerin entegre ederek, güç, ısıtma, soğutma, hidrojen vb. faydalı ürünlerin eldesini sunar. Tüm sistemin enerji verimi %32.28 olarak hesaplamışlardır. Yeni tasarım jeotermal enerji destekli multijenerasyon çevriminin analizini ve optimizasyon çalışması Liv vd. [6] tarafından gerçekleştirilmiştir. Al-Hamed ve Dincer [7] jeotermal ve katı oksit yakıt pili destekli kombine bir sistemin tasarımını ve analizini gerçekleştirmişlerdir. Tasarladıkları bu çalışma ayrıca karbon yakalama prosesini içermektedir. Bu sistem ayrıca güç, ısıtma, temiz su ve amonyum bikarbonat üretimini hedeflemektedir. Tüm sistemin ekserji yıkım maliyeti 0.79 \$/s olarak bulunmuştur. Mahmoudan vd. [8] jeotermal ve güneş enerjisi destekli kombine bir sistemin geliştirilmesini, -enerji, ekserji ve eksergoekonomik(3E)- ve optimizasyon çalışmasını incelemişlerdir. Bu çalışmada, elektrik, sıcak su, soğutma ve hidrojen üretimi amaçlanmıştır. Optimum koşullar altında, tasarlanan bu çalışma ile 1.9 kg/h hidrojen üretilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı jeotermal enerji destekli kombine bir sistem ile güç, ısıtma ve hidrojen üretiminin termodinamik analizini enerji ve ekserji verimlilikleri metodu ile incelenmesidir. Bu sistemde ayrıca termoelektrik eklenerek daha fazla güç üretimi amaçlanmıştır. Tasarlanan bu çalışmadaki elektriğin bir kısmı PEM elektrolize gönderilerek burada hidrojen üretimi amaçlanmıştır.

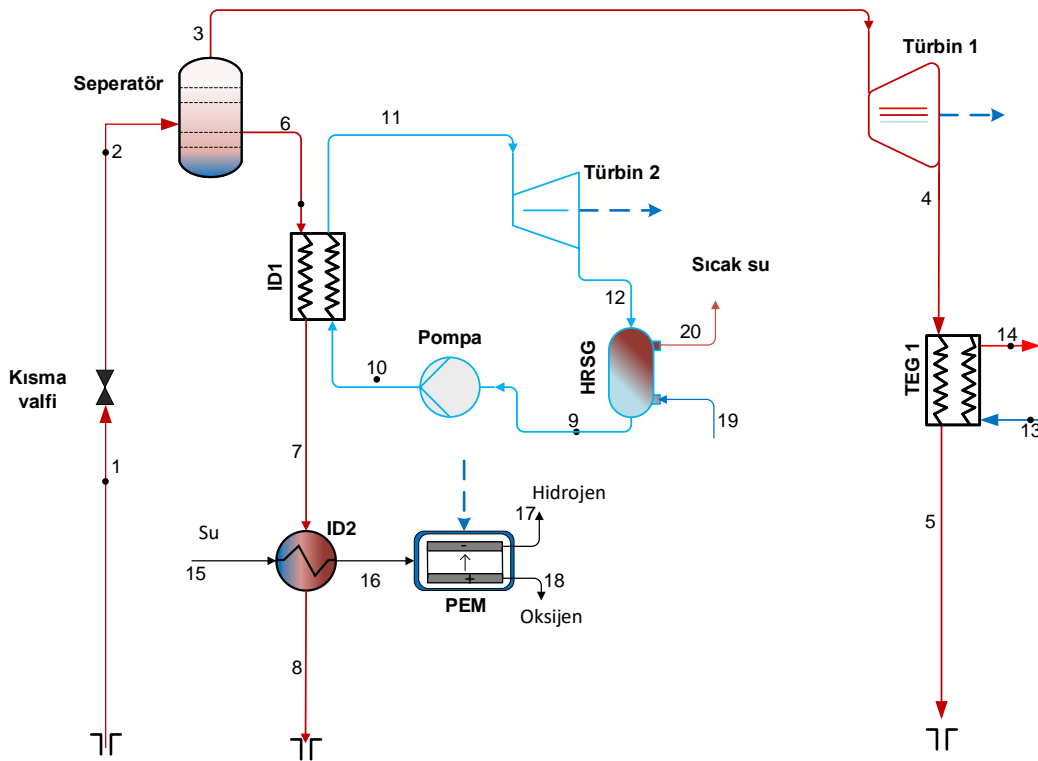
2. KOMBİNE GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİ

İncelenen bu çalışmada, jeotermal enerji destekli kombine bir çevrim önerilmiş ve analiz edilmiştir. Şekil 1'de resmedilen bu sistem genel olarak bir flaş-binary güç üretim sistemi, bir transkritik CO₂ akışkanlı Rankine çevrimi, bir PEM elektroliz ve bir TEG'den oluşmaktadır. Sistem güç, ısıtma ve hidrojen üretimi üzerine dizayn edilmiştir.

Jeotermal akışkan 200 °C 'de yer altından çıkar (1 noktasında) ve kısma valfine girer. Burada basınç ve sıcaklığı sabit entalpide düşen jeotermal akışkan 2 noktasında separatöre girer. Separatörde doymuş sıvı ve doymuş buhar fazlarında çıkan jeotermal akışkan, 3 noktasında doymuş buhar olarak Türbin 1' e girer ve burada genişleme sonucunda elektrik üretimi meydana gelir. Devamında TEG için gerekli termal enerjiyi sağlar ve sonrasında 5 noktasında yaklaşık 50 °C'de yer altına geri döner.

Geri kalan doymuş sıvı fazındaki jeotermal akışkan, 6 noktasında, ısı değiştiricisi 1' e girer ve burada transkritik Rankine çevrimi için gerekli olan termal enerjiyi sağlar. 9 ve 12 noktaları arasındaki transkritik Rankine çevriminin çalışma basınç aralığı 6500 kPa ve 9750 kPa'dır. 11 noktasında CO₂ akışkanı 9750 kPa basınçta süperkritik fazla Türbin 2 'ye gider ve genişleme sonucunda elektrik üretimi meydana gelir. Yüksek sıcaklıktaki CO₂ akışkanı soğutmak için su soğutmalı ısı değiştiricisi tercih edilmiştir.

7 noktasında yaklaşık 110 °C'deki jeotermal akışkan 15 noktasından gelen saf suyu ısıtır ve ardından 8 noktasında yer altına geri döner. 16 noktasında yaklaşık 85 °C'deki saf su PEM elektrolize gider ve burada meydana gelen elektrokimyasal reaksiyon sonucunda oksijen ve hidrojen gazlarına ayrışır. Tüm sistem bu şekilde eşzamanlı olarak çalışmasına devam eder.



Şekil 1. Jeotermal enerji destekli kombine çevrim

3. TERMODİNAMİK ANALİZ VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, jeotermal enerji destekli kombine çevrimin transkritik CO₂ akışkanlı Rankine çevrimi ile entegrasyonun, hidrojen, güç ve sıcak su üretimi için termodinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Enerji verimi, ekserji verimi ve ekserji yıkım oranları kapsamlı şekilde incelenmiştir. Bu analizler Engineering Equation Solver (EES) [9] programı ile teorik olarak gerçekleştirilmiştir.

Bir termal sistemin termodinamik açıdan incelenmesinde, termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları göz önüne alınarak genel kütle, enerji, entropi, ve ekserji bağıntıları aşağıdaki şekilde verilebilir [10-12];

$$\sum_g \dot{m}_g = \sum_c \dot{m}_c \quad (1)$$

$$\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \sum_g \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gZ \right) = \dot{Q}_c + \dot{W}_c + \sum_c \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gZ \right) \quad (2)$$

$$\sum_g \dot{m}_g s_g + \dot{S}_{\text{üretim}} + \sum_g \left(\frac{\dot{Q}_k}{T_k} \right) = \sum_c \dot{m}_c s_c + \sum_c \left(\frac{\dot{Q}_k}{T_k} \right) \quad (3)$$

$$\sum_g \dot{m}_g ex_g + \dot{E}_x^Q + \dot{E}_x^W = \sum_c \dot{m}_c ex_c + \dot{E}_x^Q + \dot{E}_x^W + \dot{E}_x^c \quad (4)$$

Burada, \dot{m} kütleli debiyi, \dot{Q} ısı transfer oranını ve \dot{W} ise iş oranı tanımlar. Denklem 4 ekserji denge denklemdir ve buradaki ısı ve iş in ekserji oranları aşağıdaki gibi formüle edilebilir;

$$\dot{E}_x^Q = \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q} \quad (5)$$

$$\dot{E}_x^W = \dot{W} \quad (6)$$

Dahası, ex terimi aksı ekserjisidir ve potansiyel ve kinetik ekserjilerin ihmal edilmesi sonucunda aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$ex = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + ex_{kim} \quad (7)$$

Yukarıda bahsedilen denge denklemleri her bir komponente ayrı ayrı uygulanır ve sonunda tüm sistemin enerji ve ekserji verimlilikleri aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\eta_{sistem} = \frac{\dot{W}_{net} + \dot{Q}_{ısıtma} + (\dot{m}_{H_2} * LHV_{H_2})}{\dot{m}_1 h_1 - (\dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_8 h_8)} \quad (8)$$

$$\psi_{sistem} = \frac{\dot{W}_{net} + \dot{E}_x^Q + \dot{Q}_{ısıtma} + (\dot{m}_{H_2} * ex_{H_2})}{\dot{m}_1 ex_1 - (\dot{m}_5 ex_5 + \dot{m}_8 ex_8)} \quad (9)$$

Sistem hesaplamaları için yapılan bazı kabuller Tablo 1 'de aşağıda verilmiştir. Ayrıca, bu kabullere ek olarak, termodinamik bir sistemin ideal bir sistem olarak analizlerinin yapılması için gerçekleştirilen kabuller aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Tüm sistem kararlı ve düzgün-sürekli akışlıdır
- Sistem ve çevresi arasında ısı alışverişi ihmal edilmiştir
- Borular ve sistem bağlantıları arasında basınç değişimi yoktur.
- Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri dikkate alınmamıştır.
- Jeotermal akışan saf su olarak modellenmiştir.
- Türbin girişleriyle akışkanlar doymuş buhar olarak kabul edilmiştir.

Tablo 1. Sistem tasarım ve girdi parametreleri

Parametreler	Birim	Değerler
T_1	°C	200
P_1	kPa	1550
\dot{m}_{jeo}	kg/s	10
Türbin 1 izantropik verim	%	92
P_9	kPa	6500
P_{10}	kPa	9750
T_9	°C	25.44
Türbin 1 izantropik verim	%	92
PEM su giriş sıcaklığı	°C	80
PEM su giriş basıncı	kPa	101.325
PEM verimi	%	56
ZT_m	-	0.8
Çevre sıcaklığı	°C	25
Çevre basıncı	kPa	101.325

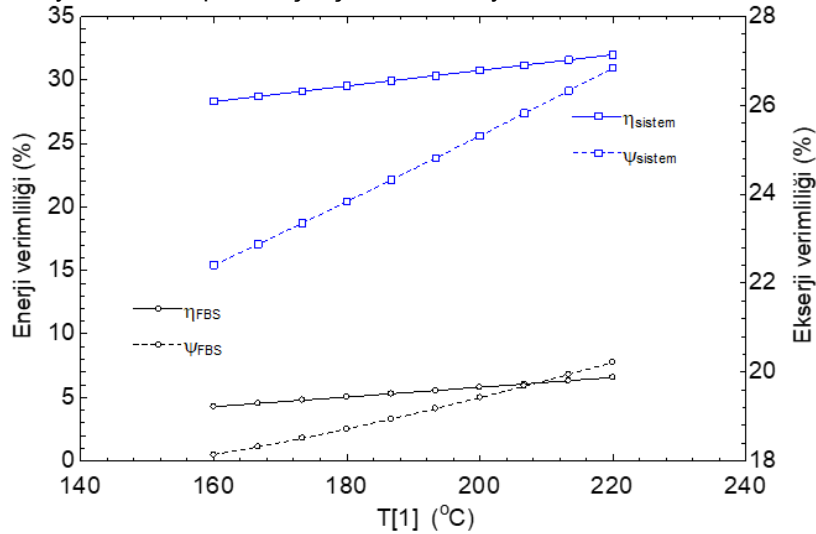
Yapılan kabuller eşliğinde, bu sistemin termodinamik analizi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda Tablo 2'e gösterilmektedir. Analiz sonuçlarına göre, tüm sistemin net güç üretim kapasitesi 260.6 kW olarak hesaplanırken hidrojen üretim miktarı ise 0.0005985 kg/s olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu sistem ile ısı geri kazanımı yapılarak toplamda 1103 kW'lık bir ısıtma yükü elde edilebilir. Sistem flaş-binary olarak dizayn edilmesi sonucunda enerji ve

ekserji verimliliği 5.796% ve 19.42% olarak hesaplanmıştır. Tasarlanan bu kombine çevrimin enerji verimi %29.2 ekserji verimi ise %25.32 olarak hesaplanmaktadır.

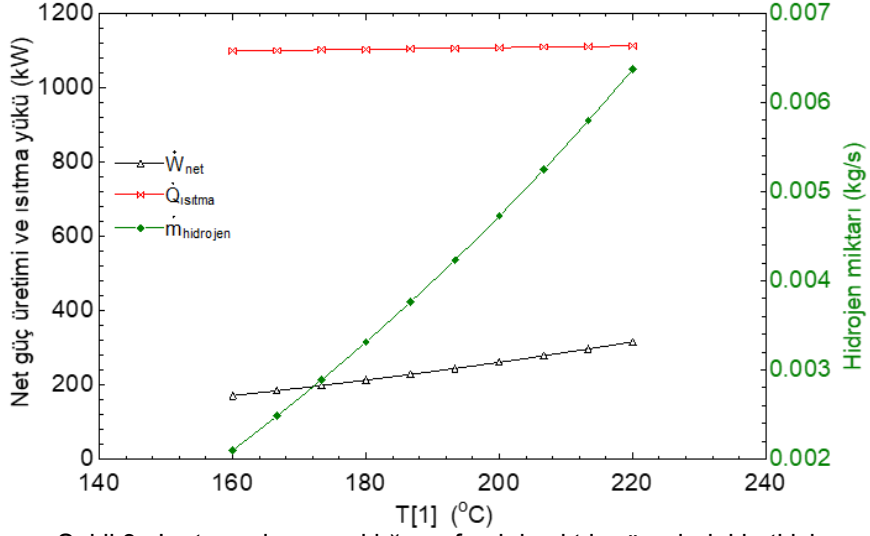
Tablo 2. Termodinamik analiz sonuçları

Parametreler	Değerler
Türbin 1 güç üretimi	282.8 kW
Türbin 2 güç üretimi	99.63 kW
TEG kapasitesi	42.35
Net güç üretimi	260.6 kW
Isıtma kapasitesi	1103 kW
Hidrojen üretim oranı	0.0005985 kg/s
Toplam ekserji yıkım oranı	1116 kW
η_{FBS}	5.796 %
ψ_{FBS}	19.42 %
η_{sistem}	29.2%
ψ_{sistem}	25.32%

Bu çalışmada ayrıca, sistem performansına etki eden bazı önemli parametrelerin değişimini incelemek için parametrik analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 2 ve 3'de jeotermal su sıcaklığının 160 °C ile 220 °C arasındaki artışına bağlı olarak sistem performansına ve sistemden elde edilen faydalı çıktılar üzerindeki etkisi incelenmiş ve sunulmuştur. Şekil 2 hem alt sistem olan flaş-ikili (FBS) sistemin hem de tüm sistemin enerji ve ekserji verimliliğindeki değişimi gösterir. Jeotermal kaynak sıcaklığındaki artış her iki sistemin verimliliğini doğrusal şekilde arttırmıştır. Ayrıca, Şekil 3'de sistemden elde edilen ısıtma, hidrojen ve net güç üretimi gibi faydalı çıktılarda da artış gözlemlenmiştir. Bu durumun temel nedeni yüksek sıcaklıklarda sistem daha yüksek entalpilerde çalışması olarak yorumlanabilir.

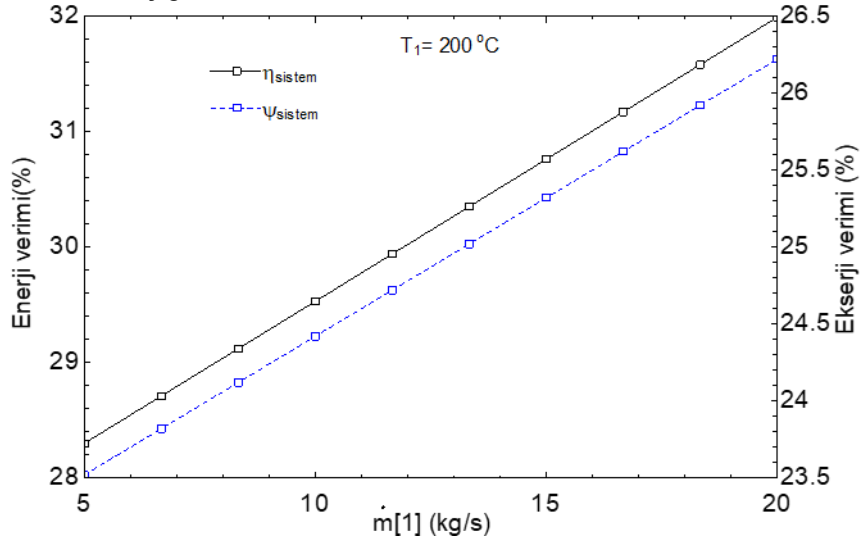


Şekil. 2. Jeotermal su sıcaklığının sistem performansına etkisi

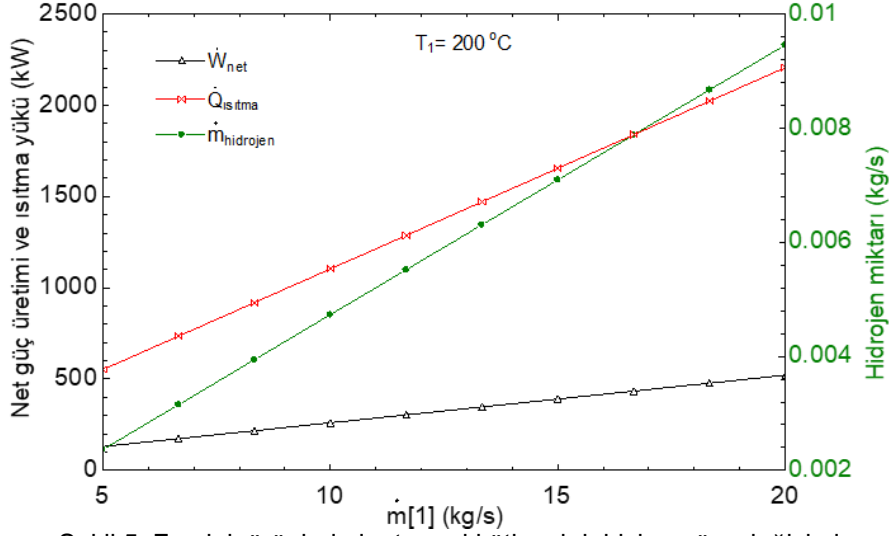


Şekil 3. Jeotermal su sıcaklığının faydalı çıktılar üzerindeki etkisi

Jeotermal su kütleli debisi bir diğer önemli parametreler arasındadır. Burada, jeotermal kütleli debisindeki artışın tüm sistemin enerji ve ekserji verimliliği üzerindeki etkisi incelenmiş ve Şekil 4'de sunulmuştur. Açıkça görüldüğü gibi, tüm sistemin enerji verimi yaklaşık %28'den %32'ye ekserji verimi ise %23.5'den yaklaşık %26'ya artmaktadır. Dahası, jeotermal akışkanın kütleli debisi ile sistemden elde edilen faydalı çıktılar arasındaki ilişki Şekil 5'de gösterilmiştir. Burada görüldüğü üzere, sistemin ürettiği faydalı çıktılar artış eğrisi göstermektedir. Kütle ile giren enerji miktarının artması neticesinde sistem performansında artış gözlemlenir.

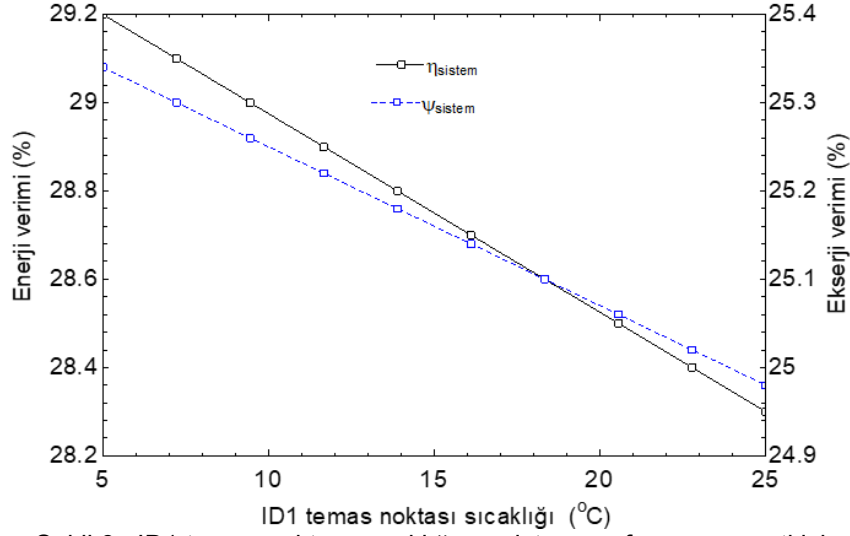


Şekil 4. Sistem performansının jeotermal kütleli debisine göre değişimi



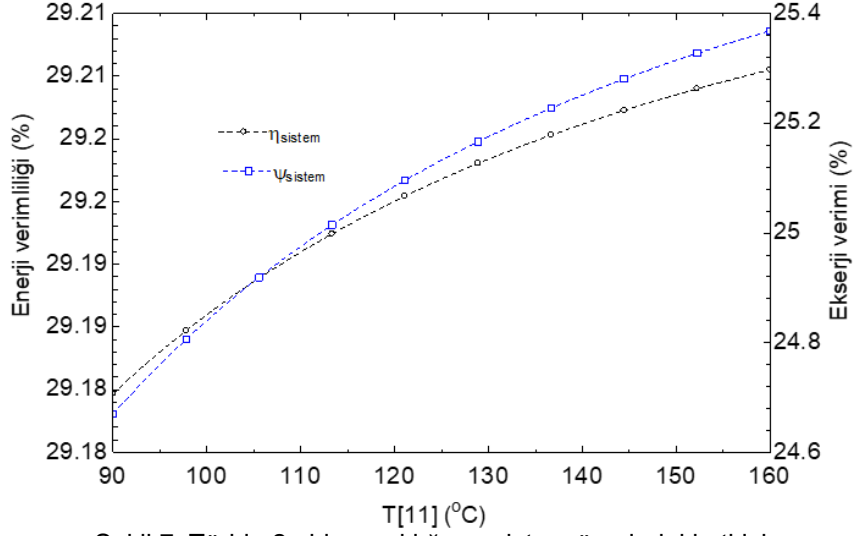
Şekil 5. Faydalı ürünlerin jeotermal kütleli debisine göre değişimi

Kombine sistemlerde ısı değiştiriciler (ID) iki sistem arasında termal şekilde ısı aktarımı yapan üniteler olması nedeni ile, sistem performansı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Şekil 6 ID '1 in temas noktasının 5 °C den 25 °C ye artırılması sonucunda hem enerji hem de ekserji verimliliğinde bir düşüşünü göstermektedir. Tüm sistem için ekserji verimliliği yaklaşık %25.4'den %24.9'a düşmektedir. ID1 temas noktası sıcaklığının artırılması sonucunda alt sistemlere giden termal enerji azalmakta ve bu yüzden sistem performansı da negatif yönde etkilenmektedir.

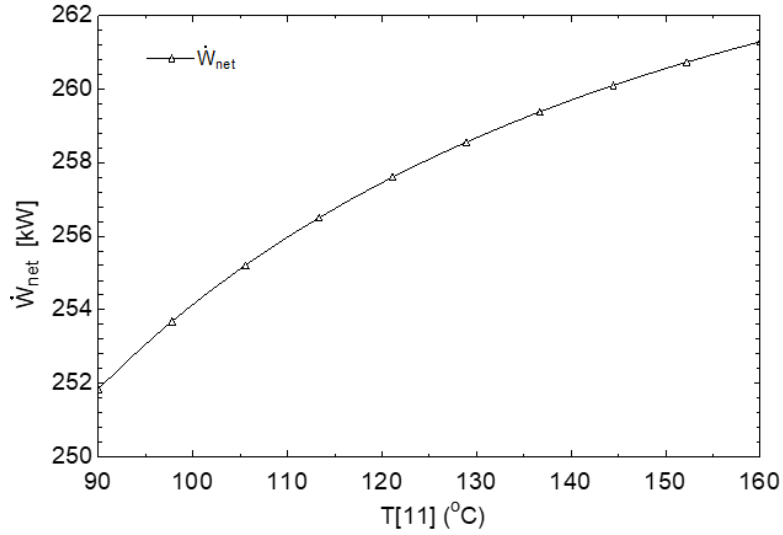


Şekil 6. ID1 temas noktası sıcaklığının sistem performansına etkisi

Şekil 7 transkritik RC çevriminin Türbinin giriş sıcaklığının artırılmasının sistem performansına etkisini inceler. Türbin 2 giriş sıcaklığının 90 C dan 160 C 'ye artırılması sonucunda tüm sistemin enerji verimi yaklaşık %29.18'den %29.21'e hafif bir artış göstermektedir. Ayrıca, bu artış aralığında tüm sistemin ekserji verimliliği artmaktadır. Bu durumun temel nedeni, Türbin 2 giriş sıcaklığının artması sonucunda elde edilen net iş, Şekil 8'deki gibi, artmaktadır. Şekil 8'de net iş üretimi yaklaşık 10 kW artmaktadır. Enerji ve ekserji verimliliğindeki hafif artışın sebebi, net güç üretimindeki artışın az olmasıdır.

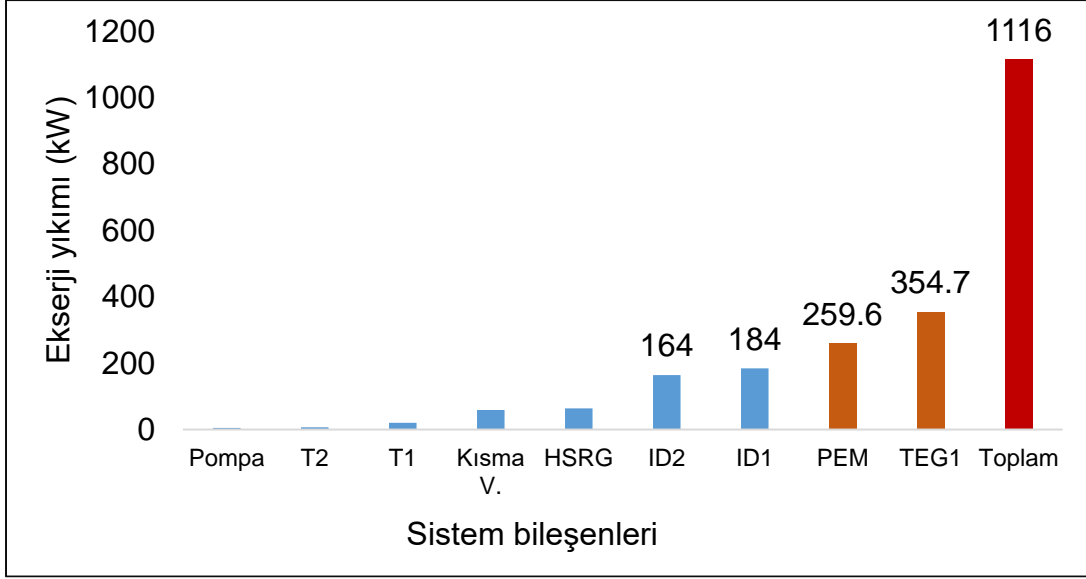


Şekil 7. Türbin 2 giriş sıcaklığının sistem üzerindeki etkisi



Şekil 8. Türbin 2 giriş sıcaklığının net güç üretimine etkisi

Tasarlanan bu çalışmada meydana gelen tersinmezlikleri belirlemek için, termodinamiğin ikinci yasasına göre ekserji yıkım oranları hesaplanmış ve aşağıda Şekil 9'da gösterilmektedir. Tüm sistemin toplam ekserji yıkımı 1116 kW olarak bulunmuştur. Sistem üniteleri içerisinde en düşük ekserji yıkımı 4.3 kW ile pompa 'da en yüksek ekserji yıkımı ise 354 kW ile TEG'de görülmüştür. Dahası, ID1 ve ID2'nin ekserji yıkım oranları 184 kW ve 164 kW olarak hesaplanmıştır. Burada elde edilen sonuçlara göre, ekserji yıkımı genel olarak sıcaklık değişiminin fazla olduğu ünitelerde daha fazladır.



Şekil 9. Sistem bileşenlerinin ekserji yıkım oranları

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tasarlanan bu çalışmada, jeotermal enerji destekli kombine bir sistemin termodinamik analizinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu sistemde temiz ve sürdürülebilir yöntemler ile güç, hidrojen ve ısıtma yükü üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, transkritik Rankine çevrimi ve TEG entegre edilerek güç üretimindeki artış incelenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre, elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

1. Bu çalışmanın net güç üretim kapasitesi 260.6 kW'dır. Sistem hidrojen üretim kapasitesi ve ısıtma yükü 0.0005985 kg/s ve 1103 kW olarak belirlenmiştir.
2. Sistemin enerji ve ekserji verimliliği %29.2 ve %25.32 olarak hesaplanmıştır. Flash-ikili (FBS) sistem olması durumunda enerji ve ekserji verimlilikleri %5.796 ve %19.42 olarak hesaplanmıştır. FBS sisteminin tüm sisteme göre enerji ve ekserji verimliliği daha düşüktür.
3. Tüm sistemin tersinmezlik oranı 1116 kW olarak hesaplanmış ve alt üniteler içerisinde en yüksek ekserji yıkımı TEG ve ID'lerde görülmüştür.

Sonuç olarak, küresel ısınma ve çevresel sorunların artması nedeni ile araştırmacılar karbonsuz enerji arayışına yönelmektedir. Bu bağlamda öne çıkan en temel seçeneklerden birisi yenilenebilir enerji kaynakları iken diğeri yeşil hidrojen seçeneğidir. Bu çalışmada, jeotermal destekli yeşil hidrojen üretimi tasarlanması gelecekteki çalışmalar için bir yol gösterici olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Bozgeyik, A., Altay, L., & Hepbasli, A. (2022). A sub-system design comparison of renewable energy based multi-generation systems: A key review along with illustrative energetic and exergetic analyses of a geothermal energy based system. *Sustainable Cities and Society*, 103893.
- [2] Kanoglu, M., Bolatturk, A., & Yilmaz, C. (2010). Thermodynamic analysis of models used in hydrogen production by geothermal energy. *International journal of hydrogen energy*, 35(16), 8783-8791.
- [3] Yilmaz, F. (2022). Development and modeling of the geothermal energy based multigeneration plant for beneficial outputs: Thermo-economic and environmental analysis approach. *Renewable Energy*, 189, 1074-1085.



- [4] Sen, O., Guler, O. F., Yilmaz, C., & Kanoglu, M. (2021). Thermodynamic modeling and analysis of a solar and geothermal assisted multi-generation energy system. *Energy Conversion and Management*, 239, 114186.
- [5] Koc, M., Yuksel, Y. E., & Ozturk, M. (2022). Thermodynamic and exergo-economic assessments of a new geothermally driven multigeneration plant. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(45), 19463-19480.
- [6] Li, K., Ding, Y. Z., Ai, C., Sun, H., Xu, Y. P., & Nedaei, N. (2022). Multi-objective optimization and multi-aspect analysis of an innovative geothermal-based multi-generation energy system for power, cooling, hydrogen, and freshwater production. *Energy*, 245, 123198.
- [7] Al-Hamed, K. H., & Dincer, I. (2022). Development and optimization of a multigeneration geothermal and solid-oxide fuel cell-based integrated system with carbon capturing. *Applied Thermal Engineering*, 205, 118037.
- [8] Mahmoudan, A., Esmaeilion, F., Hoseinzadeh, S., Soltani, M., Ahmadi, P., & Rosen, M. (2022). A geothermal and solar-based multigeneration system integrated with a TEG unit: Development, 3E analyses, and multi-objective optimization. *Applied Energy*, 308, 118399.
- [9] S. Klein Engineering Equation Solver (EES), AcademicCommercial, V11.199. 2021, F-chart software, Madison, USA (2021)
- [10] Y.A. Çengel, M.A. Boles Thermodynamics : an Engineering Approach Mc (eighth ed.), McGraw-Hil, New York (2015), 10.1017/%0ACBO9781107415324.004 Accessed 19th Feb 2019 2015
- [11] T.J. Kotas The Exergy Method of Thermal Plant Analysis (first ed.), Butterworth-Heinemann, London (1985)
- [12] I. Dincer Thermodynamics: A Smart Approach John Wiley & Sons Ltd, USA (2020)

ÖZGEÇMİŞ

Fatih YILMAZ

1987 yılı Alanya doğumludur. 2010 yılında SDÜ. Teknik Eğitim Fakültesini, tesisat öğretmenliği ve 2018 yılında Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2013 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Enerji Sistemleri A.B.D'ında Yüksek mühendis, 2017 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği A.B.D doktor unvanını almıştır. 2013-2018 yılları arasında, Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler MYO'da Öğretim görevlisi, 2018-2019 yılları arasında Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler MYO'da Dr. Öğr. Üyesi olarak çalışmıştır. 2019 yılı itibari ile Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesinde Doçent olarak çalışmalarını sürdürmektedir. Çalışma alanları, termodinamik, hidrojen, yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir entegre sistemlerdir.