

Jeotermal Kaynaklar için Çevrim Seçimi ve Optimizasyonu

Ahmet COŞKUN¹, Ali BOLATTÜRK¹

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Isparta

Özet: Alternatif kaynaklar arasında enerji üretiminde en çok verimlilik sağlayan kaynaklardan biri de jeotermaldir. Ülkemizde jeotermal enerjinin ısıtma ve güç üretiminde kullanılması ile enerji sorununun çözümünde önemli adımlar atılmış olacaktır. Bu çalışmada, Türkiye’de elektrik üretimine uygun olabilecek düşük, orta ve yüksek sıcaklıktaki jeotermal kaynaklar incelenmiştir. Bu kaynakların özelliklerine göre net güç, ısı ve ekserjetik verim açısından en uygun santrallerin seçimi yapılacaktır. Bu santraller; çift flaşlı, kombine ve Kalina çevrimli santrallerdir. İncelenen santraller net güç, enerji ve ekserji verimlerini maksimum yapan türbin giriş basıncına göre optimize edilmiştir. Özellikle çift flaşlı ve kombine santrallerde püskürtme basınçları ve türbin giriş basınçları ayrı ayrı optimize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal enerji, ekserji, yenilenebilir enerji, optimizasyon

Cycle Selection Optimization of Various Cycles for Geothermal Resources

Abstract: One of the sources offering the highest efficiency in the production of power among alternative sources is also geothermal. With the usage of the geothermal energy in heating and power production, important steps will have been taken to tackle the energy issue. In this study, geothermal sources at low, medium and high temperatures that may be suitable for power generation in Turkey were investigated. Optimum plants in terms of maximum net power, thermal and exergetic efficiency were selected according to properties of these sources. These plants are double flash, combined and Kalina cycle plants. Selected plants were optimized according to turbine inlet pressure maximizing net power, energy and exergy efficiencies. Especially in double flash and combined plants flashing pressures and turbine inlet pressures were separately optimized.

Keywords: Geothermal energy, exergy, renewable energy, optimization

1.Giriş

Tüm dünyanın ilgilendiği; enerjinin güvenli ve sürdürülebilir temini, verimli kullanımı, sera gazı etkilerinin azaltılması ve çevrenin korunması, petrol fiyatlarındaki artma eğilimi ve kararsızlıklar, fosil kaynaklardan yeni ve yenilebilir enerji kaynaklarına doğru geçiş vb. konular aynı zamanda Türkiye’nin de ilgilendiği ve ister istemez politikasında yer vermesi gereken konulardır. Dünyada ve Türkiye’de enerjiye talep artmakta ve gelecekte de artmaya devam edecektir. Birçok kurum, enerji talebinin projeksiyonları hakkında çalışma yapmaktadır (Satman, 2007).

Ülkemizde 40-232 °C arasında değişen birçok jeotermal bölge keşfedilmiştir. 100 ve 140 °C arasında 1000’den fazla sıcak su kaynağı bulunmaktadır. Günümüzde (2008) ülkemizde direkt kullanım 795 MWt iken, kurulu jeotermal güç üretim kapasitesi yaklaşık 32.65 MWe’dir (Serpen vd., 2008).

Literatürde jeotermal güç santrallerinin performans analizine yönelik birçok çalışma mevcuttur. Kanoğlu ve Bolattürk (2008), bir ikili jeotermal güç santralinin ekserji analizini, santralin gerçek datalarını kullanarak yapmışlardır. Ekserji analizi ile santralin performansı ve ekserji kayıpları tespit edilmiştir. Santraldeki ekserji kayıpları belirlenmiş olup, ekserji ve enerji diyagramları ile karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Ekserji kayıplarının en yüksek olduğu üniteler; reinjeksiyon, ısı değiştiricisi ve yoğunlaştırıcıdır. Santralin başlıca ünitelerinin ekserji verimleri hesaplanmış olup, bu değerlerle ünitelerin performansları belirlenmiştir. Santralin enerji ve ekserji verimleri sırasıyla, jeotermal suyun ısı değiştiricisine girişteki enerjisi ve ekserjisi baz alınarak, %4.5 ve %21.7 olarak bulunmuştur. İkincil çevrime girişteki ısı ve ekserji girdisi esas alınarak sırasıyla %10.2 ve %33.5 değerlerinde hesaplanmıştır. Çalışmada, türbin giriş basıncı ve sıcaklığı, yoğunlaştırıcı basıncı gibi parametrelerin; enerji ve ekserji verimlerine, net güce ve jeotermal akışkanın reinjeksiyon sıcaklığına olan etkileri araştırılmış ve açıklanmıştır. Ogriseck (2009), kombine ısı-güç santralinin verimini iyileştirmek için, Kalina çevrimi geliştirmiştir. Hesaplamalarında, amonyağın derişimine ve soğutma suyuna bağlı olarak Kalina güç santralinin ısı verimini %12.3 ile %17.1 arasında değiştiğini göstermektedir. Çalışmasında, Kalina çevrimini Clausius Rankine çevriminin bir modifikasyonu olduğunu savunmuştur. Nowak vd. (2008), yaptıkları çalışmada bir çift akışkanlı jeotermal güç santralinin ısı pompasıyla birleştirilmesiyle elde edilen sonuçları analiz etmişlerdir. Bu sistem düşük sıcaklıklı Clausius Rankine çevrimi çerçevesindeki ısı pompası evaporatörü ve yoğunlaştırıcısından oluşmaktadır.

Clausius Rankine çevriminin veriminin, yoğuşma sıcaklığındaki azalma ile buharlaşma sıcaklığındaki artışla eş zamanlı olarak arttığını savunmuşlardır. Aynı çevrimin verimindeki iyileşmenin, kuyu sıcaklığındaki artış ya da azalma ile sağlanabileceği belirtilmiştir. Selek-Murathan vd. (2008), çift flaşlı sistemlerde seçilen birincil ve ikincil flaşlama sıcaklıklarının güç üretiminde çok önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında, Çanakkale-Tuzla jeotermal alanını baz almışlardır. Bölgenin ortalama sıcaklığı ve buhar yüzdesi, 438 K ve %13 olup, optimum birincil ve ikincil flaşlama sıcaklığı sırasıyla, 393 K ve 346 K olarak bulunmuştur. Çalışmada, flaş sıcaklıklarının belirlenebilmesi için bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Maksimum güce karşılık gelen optimum flaşlama sıcaklıkları elde edilmiştir.

Bu çalışmada, Türkiye'deki Kütahya-Simav, Denizli-Kızıldere ve Aydın-Yılmazköy bölgelerinin sahip olduğu jeotermal kaynaklar incelenmiştir. Bu kaynakların özelliklerine göre net güç, ısı ve ekserjetik verim açısından en uygun santrallerin seçimi yapılmıştır. Bu santraller çift flaşlı, kombine ve Kalina çevrimli santrallerdir. İncelenen santraller net güç, enerji ve ekserji verimlerini maksimum yapan türbin giriş basıncına göre optimize edilmiştir.

2. Teorik Çalışma

Bu çalışmada, söz konusu bölgeler için incelenen termodinamik çevrimler (çift flaşlı, kombine ve Kalina) Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmiştir. Çift flaşlı çevrimde ilk püskürtme işleminden sonra ayrılan buhar aynı şekilde türbine gönderilmektedir (Şekil 1). Geri kalan sıvının basıncı ve sıcaklığı yüksek ise, akışkan ikinci bir flaşlama ünitesinden geçirilmektedir. Ayrılan buhar türbine, geri kalanı ise türbinden çıkan akışkanın yoğuşturulması sonucu elde edilen sıvı akışkan ile birleşerek yer altına gönderilmektedir.

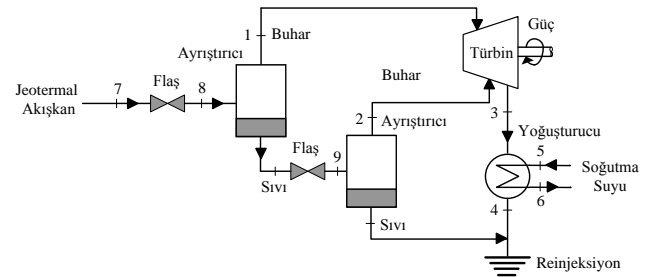
Şekil 2'de gösterilen kombine çevrim ile, hem flaşlı hem de ikincil çevrimlerin avantajlarından aynı anda yararlanma amaçlanmaktadır. Kombine çevrimler, çift flaşlı çevrimlere alternatif olarak tasarlanmış çevrimlerdir. Jeotermal akışkanın flaşlama işleminden geçirildikten sonra elde edilen buhar ile türbinden güç elde edilmektedir. Ayrıştırıcıdan ayrılan jeotermal akışkan, yer altına reinjekte edilmeden önce ısı değiştiricisinde ikincil akışkanı buharlaştırmak için kullanılmaktadır. Isı değiştiricisinde jeotermal akışkanın ısısını alarak tamamen buhar fazına geçen ikincil akışkan, türbine gönderilerek ilave güç elde edilmektedir. Flaşlı ve ikincil çevrimde düşük basınç ve sıcaklığa genişleyen buhar ve ikincil akışkan yoğuşturuculara gönderilmektedir. Yoğuşturucuda sıvı hale geçen jeotermal akışkan, ısı değiştiricisinden ayrılan sıvı ile birleşerek yer altına gönderilmektedir. Sıvı hale geçen ikincil akışkan, pompa ile ısı değiştiricisine gönderilmekte ve çevrim tamamlanmaktadır.

Şekil 3'te ise Kalina çevriminin şematik resmi gösterilmektedir. Yeraltından çıkan jeotermal akışkan, ısısını ısı değiştiricisinde NH₃-H₂O çözeltilisine aktarmaktadır. Aldığı ısıyla doymuş hale gelen akışkan, ısıtıcıda tamamen buhar haline gelinceye kadar jeotermal akışkanın ısısını ile tekrar ısıtılmaktadır. Bir miktar daha ısı ilave edilerek ikincil akışkanın kızgın buhar fazına geçmesi sağlanmaktadır. Ayrıştırıcıda çözeltiliden ayrılan kızgın buhar halindeki NH₃ buharı türbine gönderilmekte ve güç üretilmektedir. Sıvı faz ise yüksek sıcaklık reküperatörüne gönderilmektedir. Türbinden çıkan NH₃ buharı, yoğuşturucuda yoğuşarak pompaya doymuş sıvı halinde girmektedir. Pompadan çıkan sıkıştırılmış sıvı halindeki NH₃ ile yüksek sıcaklık reküperatöründen gelen H₂O düşük sıcaklık reküperatöründe birleşerek ekzotermik bir reaksiyon olan NH₃-H₂O çözeltilisi meydana gelmektedir. Daha sonra NH₃-H₂O çözeltilisi, yüksek sıcaklık reküperatöründe separatörden ayrılan sıvı fazdaki H₂O bileşeninden ısı alarak ısı değiştiricisine girmekte ve çevrim tamamlanmaktadır.

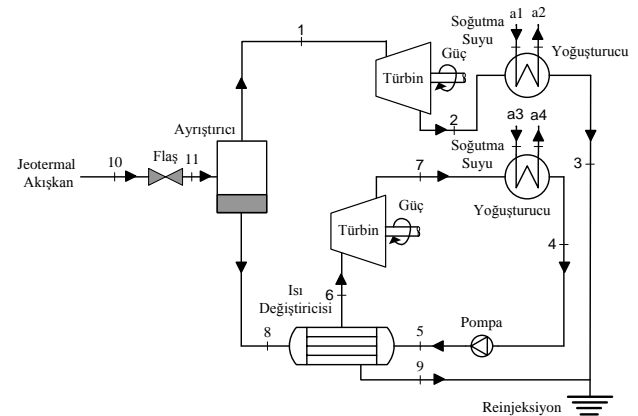
2.1. Çevrimlerin Termodinamik Analizi

Herhangi bir kontrol hacmi için, kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilerek kütle, enerji ve ekserji denklemleri sırasıyla aşağıdaki gibidir.

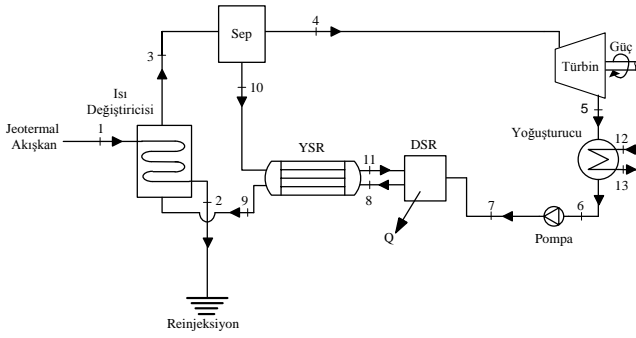
$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\xi \quad (1)$$



Şekil 1. Çift flaşlı çevrim



Şekil 2. Kombine çevrim



Şekil 3. Kalina çevrimi

$$\dot{Q} + \dot{W} = \sum \dot{m}_\phi h_\phi - \sum \dot{m}_g h_g \quad (2)$$

$$\dot{X}_{\text{ısı}} + \dot{X}_{\text{iş}} = \sum \dot{X}_{\text{kütlet}\phi} - \sum \dot{X}_{\text{kütlet}g} + \dot{X}_{\text{kayıp}} \quad (3)$$

Burada “g” girişi, “ ϕ ” çıkışı göstermekte olup, \dot{Q} ve \dot{W} net ısı ve iş girdisi, \dot{m} kütleli debi, h entalpi, $\dot{X}_{\text{kayıp}}$ ekserji kaybıdır. $\dot{X}_{\text{ısı}}$, T sıcaklığındaki bir ısı kaynaktan elde edilen net ekserji transferini belirtmektedir.

Kombine ve Kalina çevrimlerde ısı değiştiricisi için enerji dengesi ve ΔT_{pn} sıcaklık farkı Şekil 4’e göre aşağıdaki gibi yazılmaktadır:

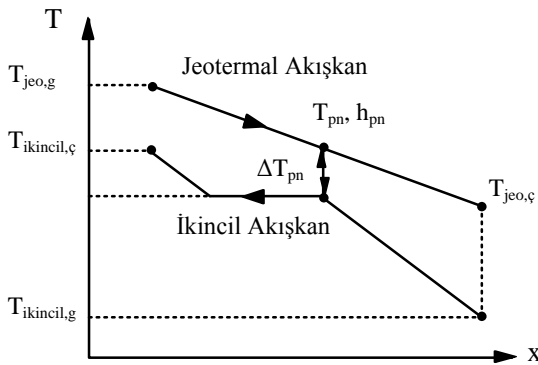
$$\dot{m}_{\text{jeo}}(h_{\text{jeo},g} - h_{\text{pn}}) = \dot{m}_{\text{binary}}(h_{\text{binary},\phi} - h_{\text{binary},f}) \quad (4)$$

$$\dot{m}_{\text{jeo}}(h_{\text{pn}} - h_{\text{jeo},\phi}) = \dot{m}_{\text{binary}}(h_{\text{binary},f} - h_{\text{binary},g}) \quad (5)$$

ve

$$T_{\text{pn}} = T_d + \Delta T_{\text{pn}} \quad (6)$$

Burada, $h_{\text{jeo},g}$ ve $h_{\text{jeo},\phi}$ sırasıyla, jeotermal akışkanın ısı değiştiricisine girişinde ve çıkışındaki entalpisidir. h_{pn} , jeotermal akışkanın darboğaz noktası sıcaklığındaki entalpisidir.



Şekil 4. Isı değiştiricisi için jeotermal ve ikincil akışkanın sıcaklık değişimi

$h_{\text{ikincil},f}$ ikincil akışkanın doyma sıcaklığındaki doymuş sıvı entalpisidir. $h_{\text{ikincil},g}$ ve $h_{\text{ikincil},\phi}$ ise sırasıyla, ikincil akışkanın ısı değiştiricisine girişinde ve çıkışındaki entalpisidir.

Yoğusturucu için ise enerjinin korunumu ilkesi uygulanırsa,

$$\dot{m}_{\text{su}}(h_{\text{su},\phi} - h_{\text{su},g}) = \dot{m}_{\text{binary}}(h_g - h_\phi) \quad (7)$$

denklemleri elde edilmektedir. Burada \dot{m}_{su} ve \dot{m}_{binary} , sırasıyla soğutma suyunun ve ikincil akışkanın kütleli debileridir.

Jeotermal güç santrallerinin enerji verimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir: (2)

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\dot{W}_{\text{net}}}{\dot{m}_{\text{jeo}}(h_{\text{jeo}} - h_0)} \quad (8)$$

Jeotermal akışkanın ekserjisi santrale giren ekserji girdisi olmak üzere, jeotermal güç santralının ekserji verimi,

$$\eta_{\text{ex}} = \frac{\dot{W}_{\text{net}}}{\dot{X}_g} = \frac{\dot{W}_{\text{net}}}{\dot{m}_{\text{jeo}}(h_{\text{jeo}} - h_0 - T_0(s_{\text{jeo}} - s_0))} \quad (9)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

2.2. Kabuller

(5)

Bu çalışmada, söz konusu bölgelere ait jeotermal akışkanların özellikleri MTA ve literatürden temin edilmiştir:

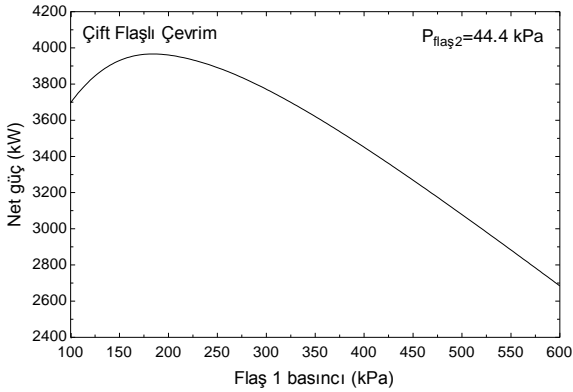
1. Kütahya-Simav bölgesi için santrallere giren jeotermal akışkanın sıcaklığı ve debisi sırasıyla, 162 °C ve yaklaşık olarak 100 kg/s (Anonim, 2008),
2. Denizli-Kızıldere bölgesinde santrallere giren jeotermal akışkanın sıcaklığı ve debisi 180 °C ve 264 kg/s (Dağdaş, 2005),
3. Aydın-Yılmazköy bölgesinde santrallere giren jeotermal akışkanın sıcaklığı ve debisi 142 °C ve 40 kg/s olarak alınmıştır (Akkuş vd., 2005).

Bu çalışmada, yapılan kabuller aşağıdaki gibidir:

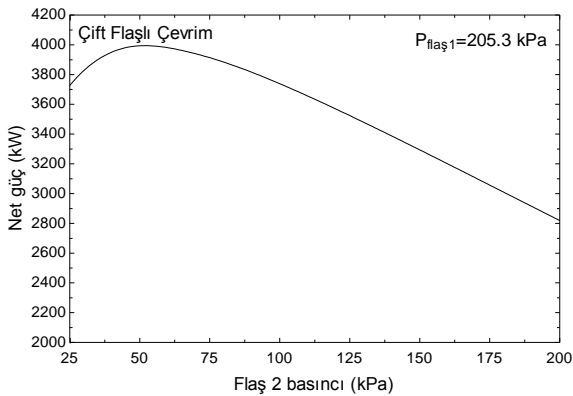
1. Kütahya-Simav bölgesi için santrallere giren jeotermal akışkanın sıcaklığı ve debisi sırasıyla, 162 °C ve yaklaşık olarak 100 kg/s,
2. Ölü hal sıcaklığı ve basıncı sırasıyla 25 °C ve 100 kPa,
3. Türbin ve pompa izentropik verimleri 0.85,
4. Kombine çevrimde aracı akışkan olarak izobütan, Kalina çevriminde $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$,
5. Kombine ve Kalina çevrimlerdeki ısı değiştiricilerin darboğaz noktası sıcaklık farkı (ΔT_{pn})=5 °C,
6. Üretilen gücün %10’unun santraller içinde (pompa, fan, vs.) tüketildiği varsayılmıştır (Kanoğlu ve Çengel, 1997).

3. Sayısal Sonuçlar

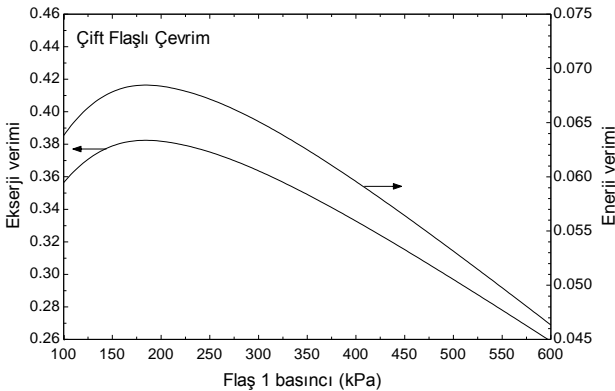
Kütahya-Simav bölgesi için incelenen güç çevrimlerinin (çift flaşlı, kombine ve Kalina) hangisinin daha uygun olup olmadığı hesaplamalar sonucu ile belirlenmiştir. Söz konusu bölge için düşünülen çift flaşlı çevrim için türbin giriş basıncının (Flaş 1 ve flaş 2) net güce, enerji ve ekserji verimlerine etkisi Şekil 5, 6 ve 7'de görülmektedir. Çift flaşlı çevrimlerde, birincil flaşlama basıncına ilave olarak, ikincil flaşlama basıncının da belirlenmesi gerekir. Flaşlama basınçlarının her ikisi de, çevrimin maksimum net gücüne göre belirlenmiştir.



Şekil 5. Çift flaşlı santral için flaş 1 basıncının net güce etkisi (Kütahya-Simav bölgesi)



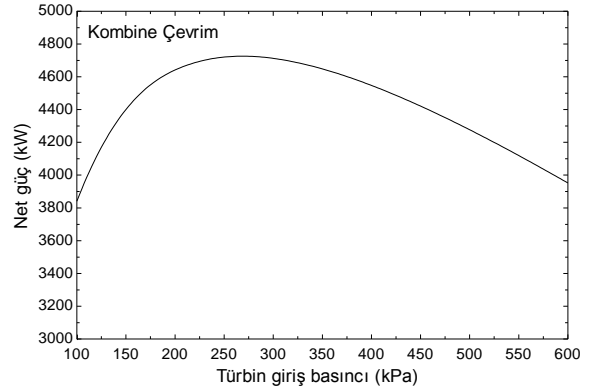
Şekil 6. Çift flaşlı santral için flaş 2 basıncının net güce etkisi (Kütahya-Simav bölgesi)



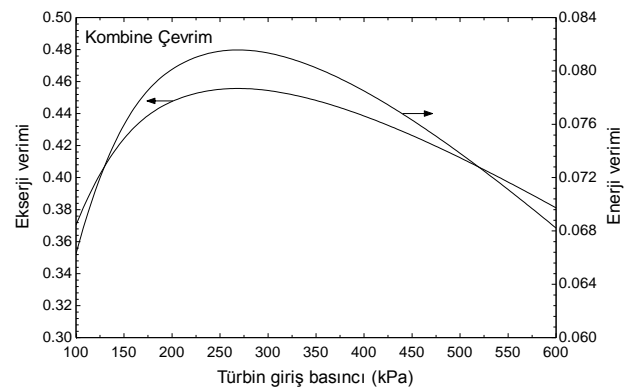
Şekil 7. Çift flaşlı santral için flaş 1 basıncının enerji ve ekserji verimine etkisi (Kütahya-Simav bölgesi)

Çift flaşlı çevrimde aşamalı olarak önce ikincil flaşlama basıncı sabit kabul edilip, birincil flaşlama basıncının optimizasyonu yapılmıştır. Benzer şekilde, optimum birincil flaşlama basıncı sabit kabul edilerek ikincil flaşlama basıncının optimizasyonu yapılmıştır. Çift flaşlı santral için birincil flaşlama basıncı Şekil 5'e göre 205.3 kPa, ikincil flaşlama basıncı Şekil 6'ya göre 50 kPa olarak bulunmuştur. Optimum basınçlarda, ısı verim %6.89 ile ekserji verimi %38.48 değerinde olmaktadır.

Kombine santral için türbin giriş basıncının net güce, enerji ve ekserji verimlerine etkisi Şekil 8 ve 9'da görülmektedir. Kombine santralin net gücünün maksimum olduğu noktadaki optimum flaşlama basıncı ile ikincil akışkanın optimum türbin giriş basıncı sırasıyla 266.7 kPa ile 1400 kPa olarak bulunmuştur. Bu değerlerde, santralin net gücü 4726 kW'tır. Isıl verim ve ekserjetik verim ise sırasıyla %8.16 ile %45.57 değerlerine yükselmiştir.



Şekil 8. Kombine santral için türbin giriş basıncının net güce etkisi (Kütahya-Simav bölgesi)

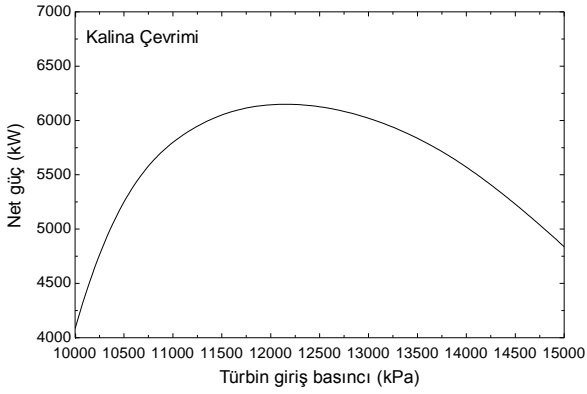


Şekil 9. Kombine santral için türbin giriş basıncının enerji ve ekserji verimine etkisi (Kütahya-Simav bölgesi)

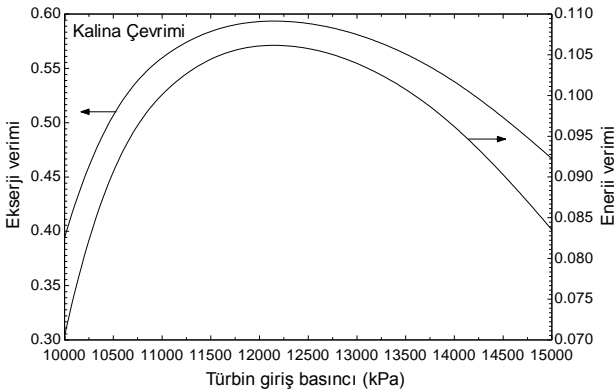
Kalina çevrimli santral için türbin giriş basıncının net güce, enerji ve ekserji verimlerine etkisi Şekil 10 ve 11'de, amonyağın ağırlıkça yüzdesinin net güce etkisi de Şekil 12'de görülmektedir. Kalina çevrimli santralde net gücü maksimum yapan türbin giriş basıncının

değeri Şekil 10'a göre 12222 kPa olmaktadır. Santralin maksimum net gücü 6148 kW'tır. Şekil 11'e göre ısı verim, %10.6 iken, ekserjetik verim %59.3 değerindedir.

Kalina çevrimli santralin net gücünün ve verim değerlerinin çift flaşlı ve kombine çevrimlerden daha yüksek olmasının sebebi amonyak-su karışımının kullanılmasıdır. Amonyak-su karışımının konsantrasyonu değiştiğinde buharlaşma ve yoğuşma sıcaklıkları değişmektedir. Bu durum, optimum türbin giriş basıncının daha yüksek olmasına sebep olmaktadır. Yüksek basınçta amonyağın entalpisi artacağından dolayı çevrimin net gücü, ısı verimi ve ekserjetik verimi, diğer çevrimlere göre daha yüksek olmaktadır.



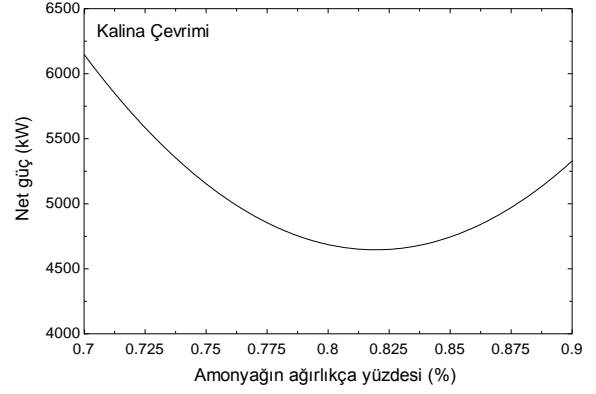
Şekil 10. Kalina çevrimli santral için türbin giriş basıncının net güce etkisi (Kütahya-Simav bölgesi)



Şekil 11. Kalina çevrimli santral için türbin giriş basıncının enerji ve ekserji verimine etkisi (Kütahya-Simav bölgesi)

Amonyacağın konsantrasyonu da net gücü etkilemektedir. Şekil 12'ye göre amonyağın ağırlıkça yüzdesi arttıkça net güç belirli bir değere kadar düşmekte, daha sonra tekrar yükselmektedir.

Kütahya-Simav, Denizli-Kızıldere ve Aydın-Yılmazköy bölgeleri için kurulması planlanan güç santrallerinin optimum değerleri ise sırasıyla; Tablo 1, 2 ve 3'te gösterilmektedir.



Şekil 12. Kalina çevrimli santral için amonyağın ağırlıkça yüzdesinin net güce etkisi (Kütahya-Simav bölgesi)

Tablo 1. Kütahya-Simav bölgesi için çevrimlerin optimum türbin giriş basınçlarına göre net güçleri, enerji ve ekserjetik verimleri

Santraller	Optimum Türbin Giriş Basıncı (kPa)	Net Güç (kW)	Enerji verimi (%)	Ekserji verimi (%)
Çift flaşlı santral	205.3	3991	6.9	38.5
Kombine santral	266.7	4726	8.2	45.6
Kalina çevrimli santral	12222	6148	10.6	59.3

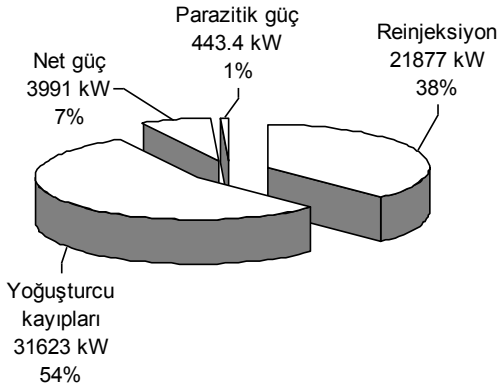
Tablo 2. Denizli-Kızıldere bölgesi için çevrimlerin optimum türbin giriş basınçlarına göre net güçleri, enerji ve ekserjetik verimleri

Santraller	Optimum Türbin Giriş Basıncı (kPa)	Net Güç (kW)	Enerji verimi (%)	Ekserji verimi (%)
Çift flaşlı santral	284.2	13889	8.0	40.7
Kombine santral	400	16325	9.4	47.6
Kalina çevrimli santral	14667	16618	9.6	48.5

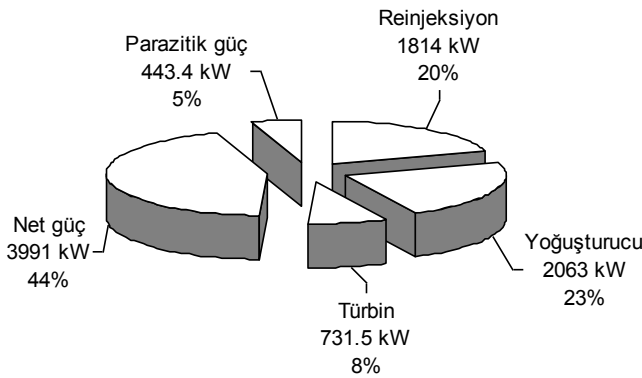
Tablo 3. Aydın-Yılmazköy bölgesi için çevrimlerin optimum türbin giriş basınçlarına göre net güçleri, enerji ve ekserjetik verimleri

Santraller	Optimum Türbin Giriş Basıncı (kPa)	Net Güç (kW)	Enerji verimi (%)	Ekserji verimi (%)
Çift flaşlı santral	127.8	1110	5.6	35.7
Kombine santral	183.3	1336	6.8	43.0
Kalina çevrimli santral	9667	2382	12.1	76.7

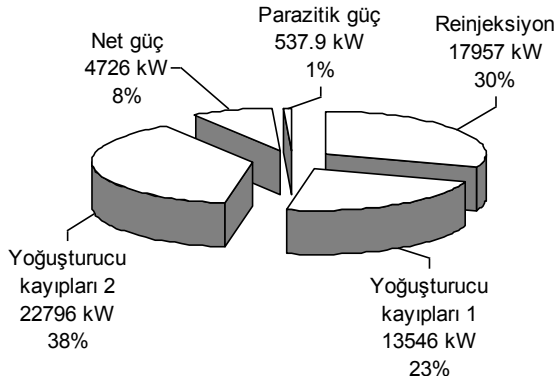
Kütahya-Simav bölgesi için incelenen santrallerin bileşenlerinin enerji ve ekserji kayıpları Şekil 13, 14, 15, 16, 17 ve 18'de görülmektedir.



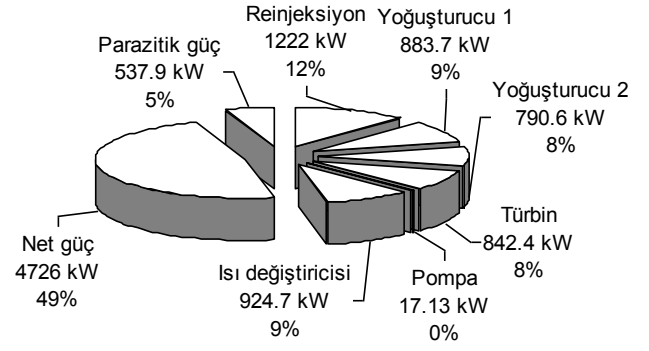
Şekil 13. Çift flaşlı santral için enerji kayıpları



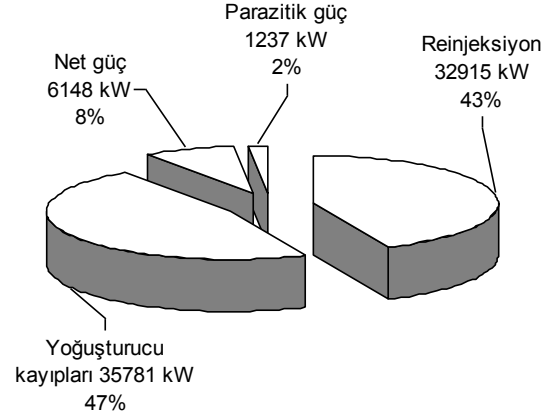
Şekil 14. Çift flaşlı santral için ekserji kayıpları



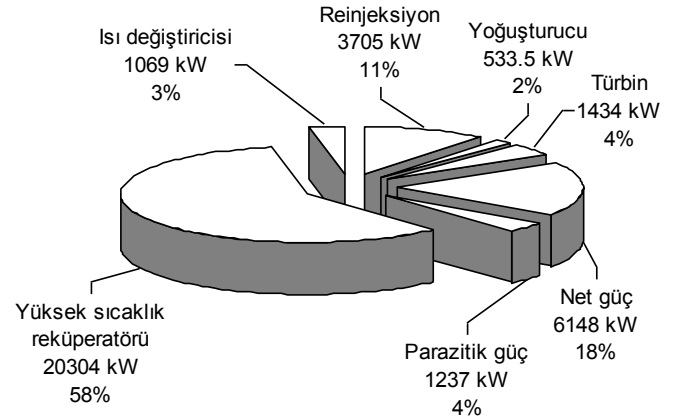
Şekil 15. Kombine santral için enerji kayıpları



Şekil 16. Kombine santral için ekserji kayıpları



Şekil 17. Kalina çevrimli santral için enerji kayıpları



Şekil 18. Kalina çevrimli santral için ekserji kayıpları

Kütahya-Simav bölgesi için incelenen santraller dikkate alındığı zaman, en yüksek ekserji kayıpları reinjeksiyon, yoğuşturucu ve ısı değiştiricisi ünitelerinde meydana gelmektedir. Bu bölgedeki tüm santrallerin reinjeksiyon ünitelerindeki ekserji kayıplarının %11-20 arasında değiştiği görülmektedir. Reinjeksiyon ünitelerindeki en düşük ekserji kaybı Kalina çevrimli santralde görülürken, en yüksek ekserji kaybının çift flaşlı santralde olduğu görülmektedir. En yüksek ekserji kayıplarının reinjeksiyon ünitelerinde meydana gelmesi, jeotermal akışkanın yer altına gönderilmeden önce başka bir uygulamada kullanılmasının uygun olacağını göstermektedir.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, Türkiye’de elektrik üretimine uygun olabilecek jeotermal kaynaklar incelenmiştir. Bu kaynakların özelliklerine göre en yüksek net güç, ısı ve ekserjetik verim açısından uygun termodinamik çevrimler seçilmiştir. Bu çevrimler çeşitli parametrelere göre optimize edilmiştir. Çalışmada yapılan analizler ile ortaya çıkan sonuçlar, jeotermal güç santrali kurulumu yapmayı düşünen kuruluşlar için son derece faydalı olacaktır.

Kütahya-Simav bölgesinde en iyi güç çıktısının sırasıyla; Kalina çevrimli, kombine ve çift flaşlı santrallerde olduğu görülmektedir. Kalina çevrimli santralin net gücünün çift flaşlı santrale kıyasla yaklaşık %50’den daha fazla arttığı belirlenmiştir.

Denizli-Kızıldere bölgesi yüksek jeotermal sıcaklığa sahip olup, uygun santral tiplerinin sırasıyla, kombine ve Kalina çevrimli, çift flaşlı santraller olduğu saptanmıştır. Bu bölgedeki jeotermal kaynakların sıcaklık ve debilerinin diğer bölgelere göre yüksek olması sebebiyle, jeotermal akışkanın yer altına gönderilmeden önce ikincil bir çevrim ya da flaşlama ünitesinde kullanılması daha uygun olacaktır. Bu yüzden, yüksek sıcaklıklı bölgeler için daha uygun santral tiplerinin flaşlı santraller olduğu görülmektedir.

Aydın-Yılmazköy bölgesi ise en düşük sıcaklığa sahip olup, en iyi güç çıktısının sırasıyla Kalina çevrimli, kombine ve çift flaşlı santrallerden sağlandığı ortaya konmuştur. Düşük sıcaklıklı bölgelerde çift akışkanlı santral tiplerinden daha iyi performans elde edilebileceği görülmektedir.

İncelenen bölgelere kurulması düşünülen jeotermal güç santrallerinin seçiminde ekserji analizlerinin önemli bir rol aldığı görülmektedir. Ekserji analizleri, güç üretim sistemlerinin optimizasyonu için kullanılan en iyi metottür. Jeotermal güç santrallerinin hem genel olarak hem de bileşenlerinin verimleri ve kayıplarının belirlenmesi, santrallerin performansları bakımından büyük bir öneme sahiptir. Jeotermal güç santrallerinde özellikle reinjeksiyon ünitelerindeki kayıplar her zaman için dikkate alınmalıdır. Kayıpların en aza indirilmesi için bu ünitelerdeki atık ısıdan maksimum derecede faydalanılması gerekmektedir. Böylelikle santrallerin güç üretim kapasiteleri ve verimlerinde iyileşmeler sağlanabilir.

6. Kaynaklar

- [1] Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., Tekin, Z., 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- [2] Anonim, 2008. Simav Belediyesi, Kütahya.
- [3] Coşkun, A., Bolattürk, A., Kanoğlu, M., 2011. Jeotermal Bir Kaynak için Güç Çevrimlerinin Termodinamik ve Ekonomik Analizleri, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Jeotermal Enerji Semineri, 129-143.

- [4] Dağdaş, A., Öztürk, R., Bekdemir, Ş., 2005. Thermodynamic evaluation of Denizli Kızıldere geothermal power plant and its performance improvement, *Energy Conversion and Management* 46 (2), 245-256.
- [5] DiPippo, R., 2007. Ideal thermal efficiency for geothermal binary plants, *Geothermics*, 35, 3, 276-285.
- [6] Kanoglu, M., Bolatturk, A., 2008. Performance and Parametric Investigation of a Binary Geothermal Power Plant by Exergy, *Renewable Energy* 33 (11), 2366-2374.
- [7] Kanoğlu, M., Çengel, Y.A., 1997. Performance evaluation of a binary geothermal power plant in Nevada, *Proceedings of the ASME Advanced Energy Systems Division* 37, 139-146.
- [8] Klein, S.A., 2009. Engineering Equation Solver (EES). Academic Commercial V8.208, F-Chart Software.
- [9] Nowak, W., Stachel, A.A., Borsukiewicz-Gozdur, A., 2008. Possibilities of implementation of absorption heat pump in realization of the clausius-rankine cycle in geothermal power station, *Applied Thermal Engineering* 28 (4), 335-340.
- [10] Ogriseck, S., 2009. Integration of Kalina Cycle in a combined heat and power plant, a case study, *Applied Thermal Engineering* 29 (14-15), 2843-2848.
- [11] Satman, A., Türkiye'nin Enerji Vizyonu, *Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi Semineri*, 3-18.
- [12] Selek-Murathan A., Murathan, A., Demirbas, B., 2009. Electricity production from geothermal sources by using double-stage flash system. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effect*, 30 (20), 1884-1889.
- [13] Serpen, U., Aksoy, N., Öngür, T., Korkmaz, E.D., 2009. Geothermal Energy in Turkey: 2008 update, *Geothermics* 38 (2), 227-237.