



TÜRKİYE'DE ORÇ DESTEKLİ JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİNDE KULLANILAN ORGANİK AKIŞKANLARIN TERMODİNAMİK PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Comparison of Thermodynamic Performance of Organic Fluids Used in ORC Supported Geothermal Power Plants in Turkey

Mehmet Aksoy
Sadık Ata
Ali Kahraman
Remzi Şahin

ÖZET

Organik Rankine Çevrimi (ORÇ), düşük sıcaklık aralığında su yerine organik akışkanın kullanıldığı bir elektrik üretim sistemidir. ORÇ, elektrik üretmek için atık ısıyı değerlendirmek amacıyla santrallerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'de Aydın ve Denizli illeri çevresinde bulunan santrallerde kullanılan akışkanların ORÇ modelinin termofiziksel ve termodinamik performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Jeotermal uygulamaları kapsamında ısı kaynağı sıcaklığı 110 °C olarak belirlenmiştir. Buharlaşma sıcaklığının 65-100 °C arasında değişmesinin sistem performansı üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Performans parametreleri olarak ısı verim, türbin işi, ekserji verimi, toplam tersinmezlik ve giren ısı ORÇ için tespit edilmiştir. Termodinamik analizi Engineering Equation Solver (EES) kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda ısı verim yönünden en yüksek %11,34 ve ekserji verimi %56,90 olarak kuru akışkanlardan n-pentane, toplam tersinmezlik miktarı en düşük 17,99 kJ/kg olarak R134a akışkanında olduğu görülmüştür. ORÇ'nin termodinamik analizinin EES yazılımıyla farklı akışkanlar kullanılarak oluşturulan modellerde başarıyla uygulanabileceğini ve akışkanların sistem parametreleri üzerindeki etkisini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Organik Rankine Çevrimi (ORÇ), Jeotermal enerji santrali, Organik akışkan, Termodinamik performans.

ABSTRACT

Organic Rankine Cycle (ORC) is an electricity generation system where organic fluid is used instead of water in the low temperature range. ORC is used in power plants to utilize waste heat to generate electricity. In this study, thermophysical and thermodynamic performance comparisons of the fluid ORC model used in plants located around Aydın and Denizli in Turkey are made. Within the scope of geothermal applications, the heat source temperature has been determined as 110 °C. The effect of changing the evaporation temperature between 65-100 °C on system performance was determined. Thermal efficiency, turbine work, exergy efficiency, total irreversibility and heat input were determined for ORC as performance parameters. Thermodynamic analysis was performed using Engineering Equation Solver (EES). As a result of this study, it was observed that the highest thermal efficiency was 11,34% and exergy efficiency was 56,90% in dry fluids, n-pentane, and the lowest total irreversibility was 17,99 kJ/kg in R134a fluid. This study showed that the thermodynamic analysis of the ORC can be successfully applied in models created using different fluids with the EES software and the effect of fluids on system parameters.

Key Words: Organic Rankine Cycle (ORC), Geothermal power plant, Organic fluid, Thermodynamic performance.

1. GİRİŞ

Türkiye’de elektrik tüketimi son yıllarda sürekli artış göstermektedir, bu artış karşılanması gereken büyük bir enerji talebi oluşturmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ve elektronik cihaz kullanımının artması güç tüketimini de artırmıştır. Elektrik üretiminin pek çok yolu vardır, son yıllarda ülkemizde yaygın olarak kullanılan jeotermal santraller, sıcak suyun enerjisinin yer altı kaynaklarından alıp akışkanlara aktarmakta, daha sonra buhar ve türbin kanatlarını döndürerek elektrik üretmektedir.

Organik Rankine Çevrimi (ORÇ), bir ısı kaynağından alınan enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemdir. Bu ısı kaynakları; güneş, jeotermal, biyokütle veya atık ısılardan oluşabilir. Özellikle biyokütle ve jeotermal alanında önemli büyüme fırsatlarına ve ısı geri kazanımı, atığın enerjiye dönüşümü ve güneş enerjisi uygulamalarındaki üstün işlevlerine sahiptir. Sistemi "organik" olarak adlandırmakla klasik Rankine çevriminden ayırmak arasındaki en büyük fark, çevrimde su buharı yerine organik akışkanın tercih edilmesidir. ORÇ için ideal akışkanlar genellikle sıfır veya pozitif eğimli "izantropik" veya "kuru akışkanlar" olup aşırı ısıtılmaları gerekmez. Klasik Rankine çevrimi aşırı ısınma gerektirir, bu nedenle türbin giriş sıcaklığı ORÇ sisteminden daha yüksektir. Bu nedenlerden dolayı, organik akışkanların kullanımı, türbin kanatlarının üretimi için sadece yüksek ısı direnci gereksinimlerini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda maliyeti de daha düşük bir seviyeye çeker.

Literatüre incelendiğinde ORÇ analizi ve akışkan seçimi konusunda farklı çalışmalar olduğu görülmektedir. Roy [1], Farklı organik akışkanlarla tasarlanmış ORÇ sistemlerinde termodinamik analiz ve parametre optimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Araştırma sonuçları, sabit 277 °C ısı kaynağı sıcaklığı için R123 sıvısının en yüksek verime ulaştığını ve aynı zamanda en az tersinmezliğe sahip olduğunu göstermektedir.

Velez [2], Maksimum 150 °C sıcaklığa sahip su, belirli hidrokarbonlar ve soğutucular gibi farklı sıvılar üzerinde çalışmışlardır. Araştırmalarında, basınç oranı ve türbin giriş sıcaklığı arttıkça sistem verimliliğinin arttığına işaret etmişlerdir. Maksimum %9 verimliliğe ulaşmışlardır. Javanshir ve Sarunac [3], ORÇ sistemde kullanılan organik akışkanları karşılaştırılmıştır. Akışkan tipinin türbin giriş sıcaklığının ısı verimine etkisinin çok önemli olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, izantropik akışkanın etkinliğinin kuru akışkan ve ıslak akışkandan daha iyi olduğunu göstermiştir.

Wang vd. [4], hidrofloroeterleri kullanarak tasarlanan ORÇ sisteminin termodinamik analizi üzerine çalışma yapmışlardır. Analizde EES programını kullanmışlardır. HFE7000, HFE7100 ve HFE7500 organik akışkanları, türbin giriş sıcaklığının değişmesi ile birinci-ikinci yasa verimi, net güç ve türbin boyut faktörü bakımından karşılaştırılmıştır.

Uusitalo vd. [5], ORÇ sisteminin termodinamik performansının belirlenmesinde organik akışkan türünün ve akışkanın termodinamik özelliklerinin etkisini incelediler. Organik akışkanlar, hidrokarbonlar, florokarbonlar ve siloksanlar olarak gruplandırılmıştır. Akışkanların kritik sıcaklığı ve molar kütlelerinin sistem üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Çalışma sonunda, buhar basıncının akışkanın kritik basıncından daha düşük olması durumunda, kritik sıcaklığı yüksek bir akışkan için de yüksek verim alınabileceği belirtilmiştir. Ancak yüksek kritik sıcaklıkların türbinlerde yüksek genişleme oranlarına neden olduğu gözlenmiştir.

Ergün [6], jeotermal kaynaklı bir ORÇ santralının termodinamik analizlerini yapmıştır. Yapılan termodinamik analizi sonucunda, sistemdeki en yüksek kayıp değeri 24410 kW ile kondenserde olduğu belirlenmiştir. Sistemin ekserji analizine göre ise en yüksek ekserji kaybı, 3930 kW ile evaporatörde tespit edilmiştir. Sistemin ısı ve ekserji verimi sırasıyla %12 ve %49 olarak hesaplanmıştır.

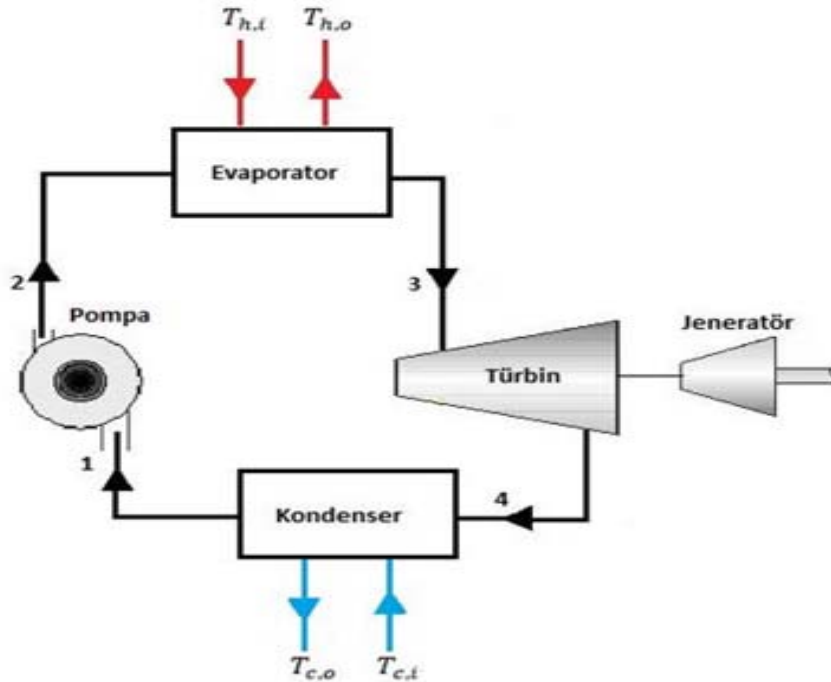
Eyidoğan [7], Elektrik ve ısı (sıcak su) üretmek için biyokütleden elde edilen termal yağın kullanıldığı ORÇ sisteminde enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. ORÇ sisteminin ekipmanlarından evaporatör, kondenser, türbin ve rejeneratörün enerji ve ekserji analizleri altı farklı çalışma koşulu için yapılmıştır. Araştırmada ayrıca evaporatör ve kondenser basıncının sistemin tam yük ve kısmi yük altında ısı verimi ve ekserji verimi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, Türkiye’de Aydın ve Denizli’de bulunan ORÇ destekli jeotermal enerji santrallerinde çok fazla kullanılan organik akışkanların performansları karşılaştırılmıştır. ORÇ’nin termodinamik modellemesi ve analizi Engineering Equation Solver (EES) ile belirlenmiştir. EES yazılımının kullanılmasının sebebi, binlerce birleştirilmiş doğrusal olmayan cebirsel ve diferansiyel denklemi sayısal olarak çözebilen genel bir denklem çözme programıdır. Program ayrıca diferansiyel ve integral denklemleri çözmek, optimizasyon yapmak, belirsizlik analizleri sağlamak, doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon yapmak, birimleri dönüştürmek, birim tutarlılığını kontrol etmek ve yayın kalitesinde çizimler oluşturmak için kullanılabilir.

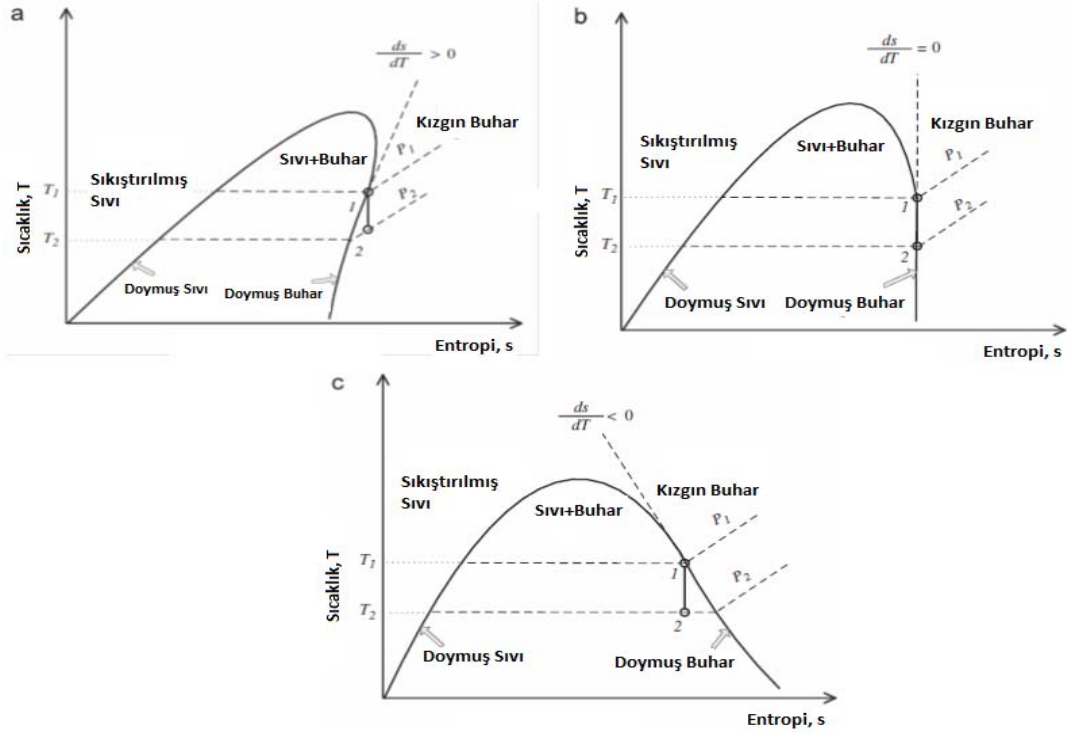
EES’nin önemli bir özelliği, denklem çözme yeteneği ile kullanılmasına izin verecek şekilde yüzlerce madde için sağlanan yüksek doğruluklu termodinamik ve taşınım özelliği veri tabanıdır. Kütüphanesinde yüzlerce farklı organik akışkanla birlikte kullanım kolaylığı ve basit arayüzü tercih sebebi olmuştur. Termodinamik analiz için gerekli denklemlerin sisteme girilmesiyle, aynı anda birçok parametreye meydana gelen değişikliklere yanıt olarak istenen sonuçlar elde edilebilir. EES sayesinde farklı akışkan kullanımının sistem performansına etkisini görmek kolaydır. EES yazılımının kütüphane ve denklem çözme işlevini kullanarak termodinamik modeller oluşturulabilir.

ORÇ’de n-bütan, n-pentane ve R134a akışkanların sistem performansı üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Şekil 1’de ORÇ çalışma prensibi gösterilmiştir. Organik akışkan ilk olarak pompada basınçlandırıldıktan sonra evaporatörden geçerken sıcak kaynak üzerinden ısı transferi gerçekleşip sıcaklığı arttırılmaktadır. Buharlaşan akışkan, yüksek basınç ve yüksek sıcaklıkta türbin kanatlarına çarparak kanatçıkları döndürür ve türbine bağlı bir jeneratör vasıtasıyla şafttan elektrik enerjisi üretir. Türbinden çıkan akışkan kondenserden geçerek yoğunlaştırılır ve çevrim tamamlanır.



Şekil 1. İdeal Rankine Çevrimi

Bu çalışmada ORÇ'de farklı akışkanların sistem üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Akışkanlar doymuş buhar eğrisinin eğimine göre Şekil 2'de gösterildiği gibi kuru, izantropik ve ıslak olmak üzere üç grupta incelenir. Akışkan tipini önemli kılan en önemli etken türbinde akışkanın genişlemesinden sonra kuruluk oranının akışkanın tipine göre değişmesidir. Akışkanların T-s diyagramlarındaki doyma eğrilerinin eğimi pozitif olduğunda akışkan kuru, negatif olduğunda ıslak ve sonsuz olduğunda ise izantropik olarak isimlendirilir.



Şekil 2. Organik Akışkanların T-s Diyagramında Gösterimi a) Kuru, b) İzantropik, c) Islak [8].

Yapılan çalışmalar, kuru ve izantropik akışkanların ORÇ sistemleri için daha uygun olduğunu göstermiştir. Türbinde genişleme sonunda akışkanın ıslak buhar fazına geçmesi türbine zarar verir. Bu durumu engellemek amacıyla ıslak akışkanlar kullanılan sistemlerde aşırı kızdırma işlemi yapılmalıdır. Fakat kuru veya izantropik akışkanlarda türbinde genişleme esnasında ıslak buhar fazına geçme durumu oluşmamaktadır. Kuru akışkanlarda genişleme sonrasında akışkan fazının kızgın buhar olması, ıslak buhar içermemesi sistem bileşenlerinin en önemlilerinden biri olan ve su moleküllerinden dolayı hasar görebilen türbin kanatçıklarının aşınmasını önüne geçer [9].

Organik akışkanlar kuru, ıslak olmak üzere iki farklı kategori altında sınıflandırılarak performansı karşılaştırılmıştır. Üç farklı akışkanın performansı aynı tasarım parametreleri altında belirlenmiştir. Bu akışkanlar aşağıda belirtilmiştir.

- Kuru akışkanlar: n-bütan, n-pentane
- Islak akışkanlar: R134a

ORÇ'nin jeotermal ısı kaynaklı uygulamaları kapsamında ısı kaynağı sıcaklığı sabit 110 °C olarak belirlenmiştir. Soğutma suyu sıcaklığı ise 25 °C, türbin ve pompa izantropik verimleri de %75 olarak ele alınmıştır. Ölü nokta basıncı ve sıcaklığı sırasıyla 100 kPa ve 25 °C olarak kabul edilmiştir. Bu bölümde yapılan diğer kabuller aşağıda belirtilmiştir.

- Bütün prosesler kararlı şartlardadır.
- Evaporatör ve kondenserdeki basınç kayıpları ihmal edilmiştir. Boru hatlarındaki kayıplar ihmal edilmiştir.
- Analizde kullanılan tüm bileşenler adyabatik olarak kabul edilmiş ve yüzey ile çevre arasında bir ısı transferinin olmadığı varsayılmıştır.

- Potansiyel ve kinetik enerji değişimleri ihmal edilmiştir.

ORÇ'nin termodinamik analizinde kullanılan denklemler aşağıda belirtilmiştir.

Aşağıdaki çizelgede verilen denklemlerde; η_t ve η_p sırasıyla türbin ve pompanın izantropik verimleri, $T_{h,i}$ ve $T_{h,o}$ sırasıyla ısı kaynağı giriş-çıkış; $T_{c,i}$ ve $T_{c,o}$ ise sırasıyla soğutma suyu giriş-çıkış sıcaklıklarıdır. Tablo 1'de verilen T_h ve T_c ise denklem (1) ve (2)'de tanımlanmıştır.

$$T_h = (T_{h,i} - T_{h,o}) / \ln(T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (^\circ\text{C}) \quad (1)$$

$$T_c = (T_{c,i} - T_{c,o}) / \ln(T_{c,i} - T_{c,o}) \quad (^\circ\text{C}) \quad (2)$$

Tablo 1. ORÇ Termodinamik Analiz Bağlılıkları

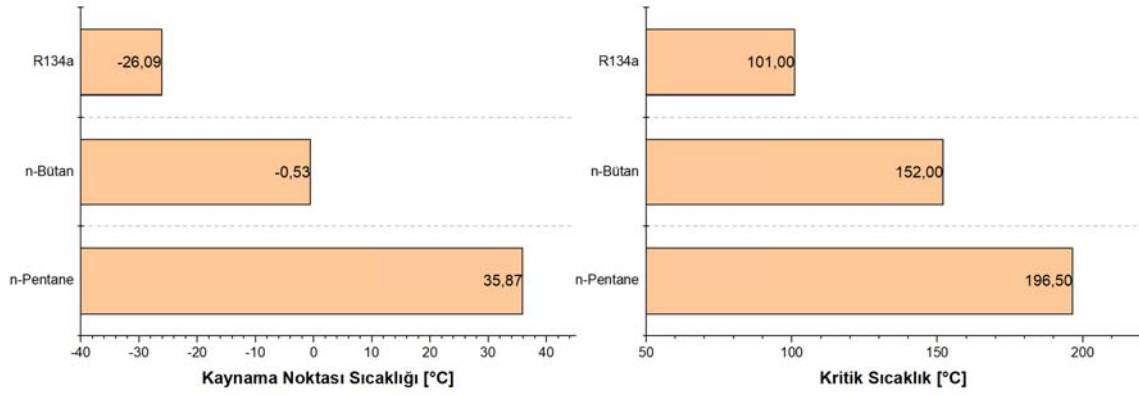
Bileşenler	Enerji Analizi	Ekserji Analizi
Pompa	Pompa İşi (kJ/kg) $w_p = (h_2 - h_1) = (h_{2s} - h_1) / \eta_p$	Pompa Tersinmezliği (kJ/kg) $i_p = T_0(s_2 - s_1)$
Evaporatör	Evaporatör ısı girdisi (kJ/kg) $q_e = (h_3 - h_2)$	Evaporatör Tersinmezliği (kJ/kg) $i_e = T_0[(s_3 - s_2) - (h_3 - h_2) / T_h]$
Türbin	Türbin İşi (kJ/kg) $w_t = (h_3 - h_4) = (h_3 - h_{4s}) \eta_t$	Türbin Tersinmezliği (kJ/kg) $i_t = T_0(s_4 - s_3)$
Kondenser	Kondenserde Atılan Isı Miktarı (kJ/kg) $q_c = (h_4 - h_1)$	Kondenser Tersinmezliği (kJ/kg) $i_k = T_0[(s_1 - s_4) + (h_4 - h_1) / T_c]$
Sistem	Net İş (kJ/kg) $w_{net} = q_e - q_c$	Toplam Tersinmezlik (kJ/kg) $i_{Toplam} = i_p + i_e + i_t + i_c$
	Isıl Verim $\eta_{Isıl} = w_{net} / q_e$	Harcanan Ekserji (kJ/kg) $e_{harcanan} = [1 - T_0 / T_h] q_e + w_p$
		Ekserji Verimi $\eta_{II} = 1 - i_{Toplam} / e_{harcanan}$

Bu çalışmanın amacı ORÇ sisteminde kuru ve ıslak akışkanların sistem parametreleri üzerindeki etkilerini belirlemek, akışkanların sistem üzerindeki termodinamik etkilerini karşılaştırmaktır.

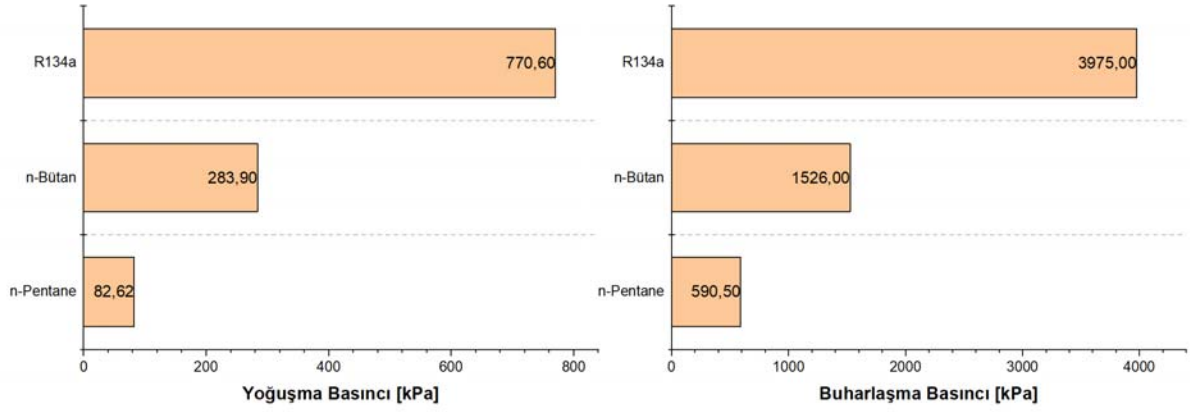
3. BULGULAR

3.1. Organik Akışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Şekil 3 ve Şekil 4'de akışkanların termofiziksel özellikleri karşılaştırılmıştır. Grafik incelendiğinde n-pentane diğer akışkanlara göre daha yüksek kaynama noktası ve kritik sıcaklığa sahip olduğu görülmektedir. En düşük kaynama noktası sıcaklığı ise R134a'da, en düşük kritik sıcaklık ise yine R134a'da görülmüştür. Tüm akışkanların 30 °C'ye karşılık gelen yoğunlaşma basınçları ile 100 °C'deki buharlaşma basınçları incelendiğinde n-pentane'in düşük basınç değerlerine sahip olduğu dikkat çekmektedir.



Şekil 3. Akışkanların kaynama noktası sıcaklığı ve kritik sıcaklık değerleri karşılaştırılması



Şekil 4. Akışkanların yoğuşma ve buharlaşma basıncı karşılaştırılması

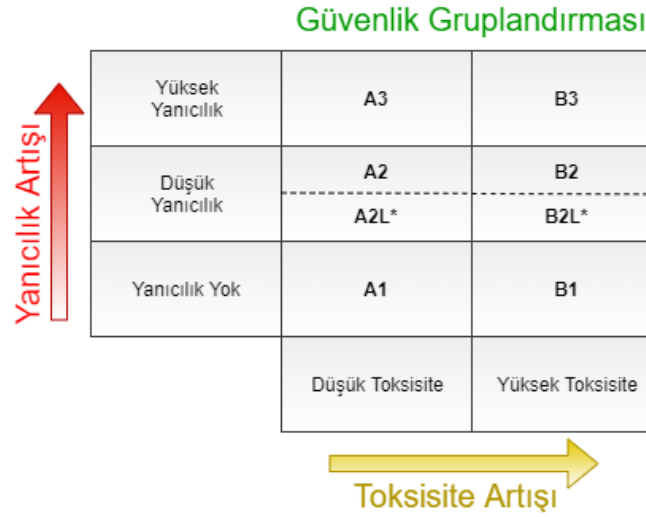
3.2. Organik Akışkanların Çevresel Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Tablo 2’de jeotermal santrallerde bulunan ORÇ sisteminde kullanılan organik akışkanların çevresel özellikleri karşılaştırılmıştır. ODP (Ozon Delme Potansiyeli) 3 akışkan için 0 olduğu ve GWP (Küresel Isınma Potansiyeli) değerinin en yüksek R134a akışkanında olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Akışkanların Çevresel Özellikleri

Akışkanlar/ Özellikler	n-pentane	n-bütan	R134a
ASHRAE standartları güvenlik sınıfı	A3	A3	A1
ODP	0	0	0
GWP	20	20	1430

Bu bölümde ORÇ tasarımında kullanılan akışkanların çevresel özellikleri özellikleri kapsamında GWP ve ASHR güvenlik sınıfı belirtilmiştir. ASHR güvenlik sınıfına dair gruplandırma da Şekil 5’de verilmiştir.



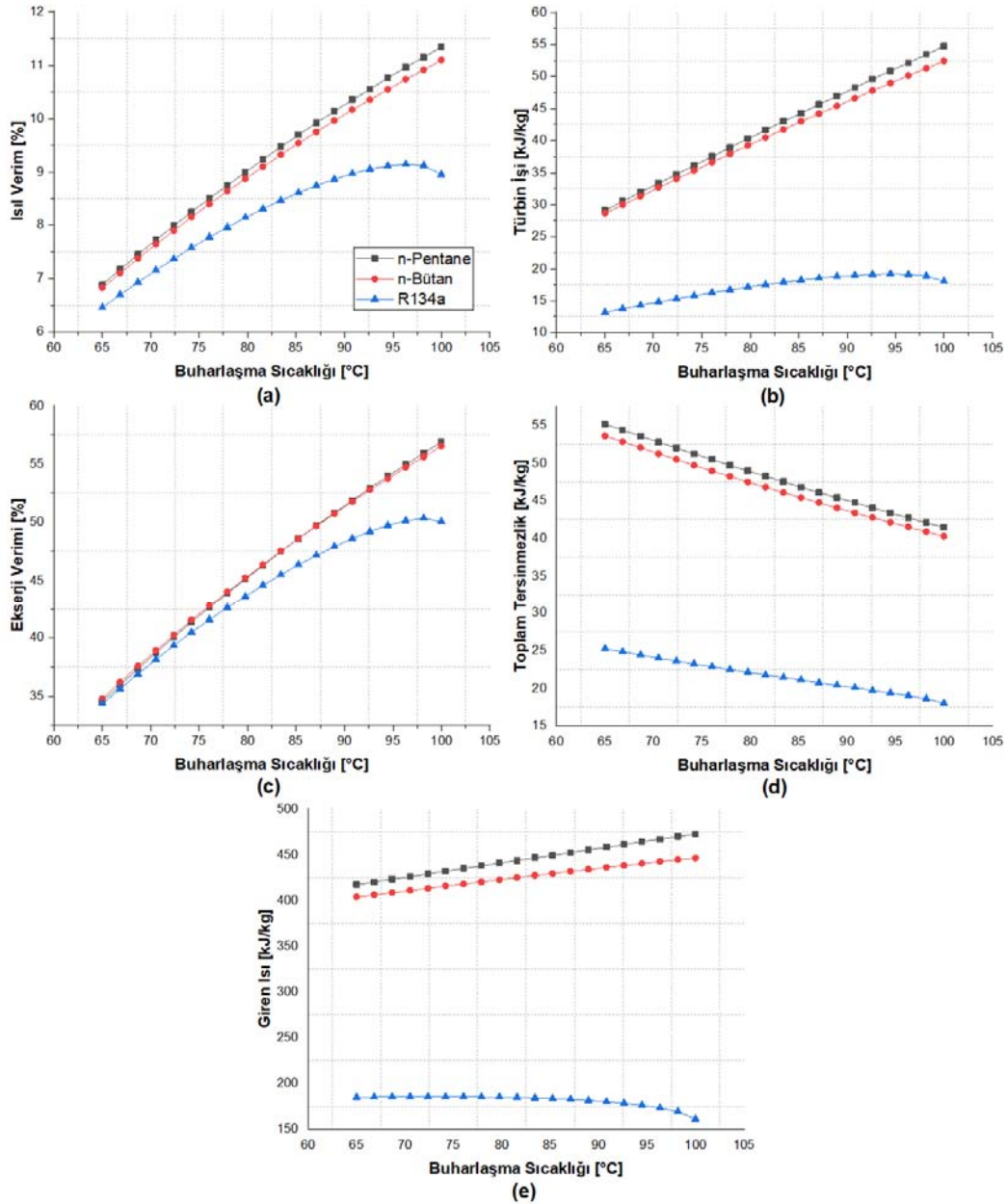
Şekil 5. Akışkanların çevresel özelliklerini belirleyen güvenlik gruplandırması

*A2L ve B2L düşük yanıcılık değeri olan ve maksimum yanma hızı 10 cm/s olan akışkanları ifade etmektedir.

3.3. Organik Akışkanların Termodinamik Performanslarının Belirlenmesi

Bu bölümde kuru ve ıslak akışkanların ORÇ performansına etkisi belirlenmiştir. Performans parametreleri ısı verim, türbin işi (kJ/kg), ekserji verimi ve toplam tersinmezlik (kJ/kg) olarak belirlenmiştir. Isı kaynağı sıcaklığı jeotermal uygulamaları kapsamında 110 °C olarak belirlenmiştir. Buharlaşma sıcaklığının 65-100 °C arasında değişmesinin sistem performansı üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Şekil 6'da kuru ve ıslak akışkanların termodinamik performansları karşılaştırılmıştır. Isıl verim ve ekserji verimi incelendiğinde en yüksek değerler n-pentane akışkanında elde edilmiştir. Türbin işi incelendiğinde n-pentane ve n-bütan yakın değerlere sahipken R134a'nın düşük değerlerde kaldığı belirlenmiştir. Toplam tersinmezlikler karşılaştırıldığında ise en düşük değer R134a'da olduğu görülmüştür. Giren ısı değerleri karşılaştırıldığında R134a akışkanının diğerlerine göre daha düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Akışkanların termodinamik performanslarının karşılaştırılması a) Isıl Verim, b) Türbin İşi, c) Ekserji Verimi, d) Toplam Tersinmezlik, e) Giren Isı

SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye’de Aydın ve Denizli’de bulunan jeotermal enerji santrallerinde kullanılan organik akışkanlar termodinamik ve termodinamik performansları açısından değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede kuru ve ıslak akışkanlar kullanılmıştır. Kuru akışkanlardan; n-bütan, n-pentane akışkanları, ıslak akışkanlardan ise; R134a akışkanı ısı verim, türbin işi, ekserji verimi ve toplam tersinmezliklerine göre karşılaştırılmıştır. Üç farklı akışkan için EES yazılımı üzerinden termodinamik model oluşturulmuş ve giriş parametreleri belirlenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda en yüksek ısı verime (%11,34) n-pentane akışkanında ulaşıldığı görülmüştür. En yüksek türbin işi (54,72 kJ/kg) ve ekserji verimi (%56,90) ile yine n-pentane

akışkanında, en düşük toplam tersinmezlik miktarı (17,99 kJ/kg) ise R134a akışkanında olduğu görülmüştür. Giren ısı değeri (161,2 kJ/kg) olarak R134a akışkanında olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3'de kuru ve ıslak akışkan gruplarının termodinamik performans karşılaştırmasında 100 °C buharlaşma sıcaklığı için öne çıkan akışkanın n-pentane olduğu görülmüştür.

Tablo 3. 100 °C buharlaşma sıcaklığı için akışkanların termodinamik performans sonuçları

Performans Kriteri/Akışkan	Giren Isı (kJ/kg)	Türbin işi (kJ/kg)	Isıl verim (%)	Toplam tersinmezlik (kJ/kg)	Ekserji verimi (%)
n-pentane	472,70	54,72	11,34	41,44	56,9
n-bütan	446,50	52,42	11,09	40,29	56,54
R134a	161,20	18,03	8,95	17,99	50,05

Bu çalışmada jeotermal santrallerde kullanılan ORÇ'de akışkan seçiminin önemi belirtilmiş olup; farklı türden akışkanların birbiri ile termodinamik ve termodinamik bakımdan karşılaştırılmışlardır. Bu çalışmada, EES yazılımıyla tasarlanan termodinamik model ile, aynı giriş parametrelerinde farklı akışkan tiplerinin analizinin başarıyla yapılabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] J.P. Roy, M.K. Mishra, A. Misra, Performance analysis of an Organic Rankine Cycle with superheating under different heat source temperature conditions, *Applied Energy*. 88 (2011) 2995–3004. doi:10.1016/j.apenergy.2011.02.042.
- [2] F. Vélez, J.J. Segovia, M.C. Martín, G. Antolín, F. Chejne, A. Quijano, Comparative study of working fluids for a Rankine cycle operating at low temperature, *Fuel Processing Technology*. 103 (2012) 71–77. doi:10.1016/j.fuproc.2011.09.017.
- [3] A. Javanshir, N. Sarunac, Thermodynamic analysis of a simple Organic Rankine Cycle, *Energy*. 118 (2017) 85–96. doi:10.1016/j.energy.2016.12.019.
- [4] H. Wang, H. Li, L. Wang, X. Bu, Thermodynamic Analysis of Organic Rankine Cycle with Hydrofluoroethers as Working Fluids, *Energy Procedia*. 105 (2017) 1889–1894. doi:10.1016/j.egypro.2017.03.554.
- [5] A. Uusitalo, J. Honkatukia, T. Turunen-Saaresti, A. Grönman, Thermodynamic evaluation on the effect of working fluid type and fluids critical properties on design and performance of Organic Rankine Cycles, *Journal of Cleaner Production*. 188 (2018) 253–263. doi:10.1016/j.jclepro.2018.03.228.
- [6] A. Ergün, Organik Rankine Çevrimi Prensibine Göre Çalışan Bir Jeotermal Elektrik Santralinin Termoekonomik Analizi, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2014.
- [7] M. Eyidoğan, Organik Rankine Çevrimli Güç Üretim Sisteminin Enerji Ve Ekserji Analizi, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2014.
- [8] J. Bao, L. Zhao, A review of working fluid and expander selections for organic Rankine cycle, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 24 (2013) 325–342. doi:10.1016/j.rser.2013.03.040.
- [9] İ. Günaydın, 1,5 kW Gücünde Organik Rankine Çevriminin Parametrik Tasarımı Termodinamik Analizi Prototip İmalatı ve Testi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 2016.



ÖZGEÇMİŞ

Mehmet AKSOY

1997 yılı Konya doğumludur. 2020 yılında KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı yılda Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisansına başlamıştır. Termodinamik tabanlı sistemlerde optimizasyon ve makine öğrenmesi konularında çalışmaktadır.

Sadık ATA

2013 yılında Mersin Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. 2015 yılında Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisansını, 2020 yılında Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında dokorasını tamamlamıştır. 2013-2019 yılları arasında KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi, 2019-2020 yılları arasında KTO Karatay Üniversitesi Ticaret ve Sanayi Meslek Yüksekokulu Mekatronik Programında öğretim görevlisi, 2020 yılı Temmuz itibari ile KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yapmaktadır. Isıl sistemlerin tasarımı ve termodinamik optimizasyonu konularında çalışmaktadır.

Ali KAHRAMAN

1993 yılında Selçuk Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Dumlupınar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 1997 yılında Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisansını tamamlayarak Makine Yüksek Mühendisi unvanını aldı. 1997 yılında Dumlupınar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi görevinden ayrılarak Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2001-2002 yılları arasında doktora tez çalışmasının deneysel bölümünü yapmak üzere Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Lehigh Üniversitesi, Makine Mühendisliği ve Mekanik Bölümü, Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarında çalıştı. 2002 yılında Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında doktora eğitimini tamamladı. 2002-2012 yılları arasında Selçuk Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümünde Yardımcı Doçent olarak görev yaptı. 2012-2014 yılları arasında Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünde Doçent olarak çalıştı. 2014 yılında Necmettin Erbakan Üniversitesine geçerek, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümünde doçent olarak görev yaptı. 2017 yılında aynı bölüme Profesör olarak atandı. Akışkanlar Mekaniği ve Enerji Teknolojileri alanında ulusal ve uluslararası bilimsel çalışmaları bulunmaktadır.

Remzi ŞAHİN

1987 yılında Birzeit Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü bitirmiştir. Orta Doğu Teknik Üniversitesinden 1992 yılında yüksek mühendis, 2001 yılında doktor unvanını almıştır. 1990-1997 yılları arasında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. 1997-2012 yılları arasında Türk Traktör ve Ziraat Makinaları Fabrikası A.Ş.'de AR-GE mühendisi olarak çalışmıştır. 2012 yılından itibaren KTO Karatay Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yapmaktadır. Enerji sistemleri ve içten yanmalı motorlar konularında çalışmaktadır.