



Baca Gazı Destekli Organik Rankine Çevrimi için Taguchi Analizi

Burak Türkan*

Bursa Uludağ Üniversitesi, Gemlik Asım Kocabıyık MYO, Makine Bölümü, Gemlik, 16600, Bursa/TÜRKİYE (ORCID No: 0000-0002-4019-7835)
burakt@uludag.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1082626)

ATIF/REFERENCE: Turkan, B. (2022). Baca Gazı Destekli Organik Rankine Çevrimi için Taguchi Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 381-386.

Öz

Atık ısı geri kazanımının önemli bir rol oynadığı gelecekteki enerji talebi ve çevre kirliliği sorunlarının hesaplanmasında verimlilik çoğu zaman birincil faktördür. Organik Rankine çevrimi (ORC), düşük ile orta dereceli atık ısı kaynakları için teknik uyumluluk, fizibilite ve güvenilirlik nedeniyle araştırmacıların ve/veya üreticinin yaygın ilgisini çekmeye devam etmektedir. Bu makale, enerji ve ekserji kavramlarına dayalı olarak baca gazı destekli organik Rankine çevrimleri üzerine optimizasyon analizi sunmaktadır. Bu çalışmada, termal enerjiyi elektrik ve/veya mekanik enerjiye dönüştürmek için iki türbinli çevrim kullanılarak Taguchi metodu ile optimizasyon çalışması yapılmıştır. Optimizasyon çalışması için parametreler, türbin giriş basıncı P_1 , çevrim ara basıncı P_2 ve türbinden ara basınçtaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranı PC3 olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ORC çevriminin birinci ve ikinci kanun verimleri üzerinde en etkili parametrenin türbin giriş basıncı (1. kanun için %70.23, 2. kanun için %72.38) olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Organik rankine çevrimi, Taguchi, Optimizasyon, Ekserji.

Taguchi Analysis for Flue Gas Assisted Organic Rankine Cycle

Abstract

Efficiency is often the primary factor in calculating future energy demand and environmental pollution problems, where waste heat recovery plays an important role. The organic Rankine cycle (ORC) continues to attract widespread attention from researchers and/or manufacturers due to its technical compatibility, feasibility and reliability for low to moderate waste heat sources. This article presents optimization analysis on flue gas assisted organic Rankine cycles based on energy and exergy concepts. In this study, an optimization study was carried out with the Taguchi method using two turbine cycles to convert thermal energy into electrical and/or mechanical energy. The parameters for the optimization study were selected as turbine inlet pressure P_1 , cycle intermediate pressure P_2 and fluid ratio PC3 transferred from the turbine to the heat exchanger at intermediate pressure. According to the results obtained, it has been determined that the most effective parameter on the first and second law efficiencies of the ORC cycle is the turbine inlet pressure (70.23% for the 1st law, 72.38% for the 2nd law).

Keywords: Organic rankine cycle, Taguchi, Optimization, Exergy.

* Sorumlu Yazar: burakt@uludag.edu.tr

1. Giriş

Günümüz dünyasında mühendislerin karşılaştığı zorluklardan biri, düşük başlangıç sermaye yatırımı ile uygun maliyetli ve aynı zamanda düşük işletme maliyetine sahip, çevre koruma konusundaki hükümet gereksinimlerini karşılayan bir sistem tasarlamaktır. Enerji talepleri artarken, doğal kaynaklarımız azalıyor ve her geçen gün kaynaklarımızı daha verimli kullanmak giderek daha önemli hale geliyor (Pulat vd., 2009).

Tarih boyunca enerji arzı her zaman insan yaşamının ihtiyaçlarından biri olmuştur. Günümüzde küresel talebi artarak devam eden enerji arzının birincil kaynaklarından biri elektriktir (Alirahmi vd., 2021). Yenilenebilir enerji, fosil ve yenilenemeyen kaynakları tüketmeden modern yaşamı hareket ettirmek için sonsuz bir enerji kaynağı vaat ediyor. Çevre kirliliği ve iklim değişikliği, fosil yakıt kullanmanın yüksek ekonomik maliyetleri göz önüne alındığında, araştırmacılar bunları yenilenebilir enerji ile değiştirmeyi düşünüyorlar (Soltani, 2020).

Organik Rankine çevrimi, düşük kaynama sıcaklıklarına sahip organik malzemeleri çalışma sıvısı olarak kullanarak atık ısıyı güce dönüştürür ve basit yapısı, farklı çalışma koşullarına kolayca uygulanabilmesi, boyutu ve güç üretme kabiliyeti nedeniyle organik Rankine çevrimi, düşük dereceli atık ısı kaynaklarını kullanarak ısı ve güç üretmek için mükemmel bir seçimdir (Turkan ve Etemoğlu, 2020).

ORC sistemlerini tasarım, optimizasyon, çalışma durumu vb. gibi farklı açılardan inceleyen, teknolojinin mevcut durumunu belirlemek ve gelecekteki araştırmalara rehberlik etmek için çok sayıda derleme makalesi yayınlanmıştır (Imran vd., 2018; Garcia vd., 2018). Yamamoto vd., (2001) çalışma akışkanları olarak HCFC-123 ve su kullanarak kapalı tip organik Rankine çevrimlerinin performansını ve özelliklerini inceledi. Bu çalışmadan, organik Rankine çevriminin düşük dereceli ısı kaynaklarıyla etkin bir şekilde uygulanabileceği ve HCFC-123'ün organik Rankine çevrimi performansını önemli ölçüde arttırdığı görülebilir.

Etemoğlu (2008), çalışma koşullarının ve çalışma sıvısının sistem performansını büyük ölçüde değiştirebileceğini kanıtladı. Kermani vd., (2018) çalışma koşullarını ve çalışma akışkanını değiştirerek optimum termal mimariyi elde etmek için bir optimizasyon tekniği sunmuştur. Akbay ve Yılmaz (2021) tarafından ısı kaynağı olarak jeotermal enerji kullanılarak farklı akışkanların ORC ve buhar türbinleri üzerindeki etkilerini araştırmak için bir termal analiz yapılmıştır.

Termal işlemlerde muazzam miktarda ısı israf edilir. Forman vd., (2016) küresel birincil enerji tüketiminin %72'sinin termal işlemler sırasında kaybolduğunu ve dikkate alınan atık ısı akışlarının %63'ünün 100°C'nin altında bir sıcaklığa sahip olduğunu tahmin etmektedir.

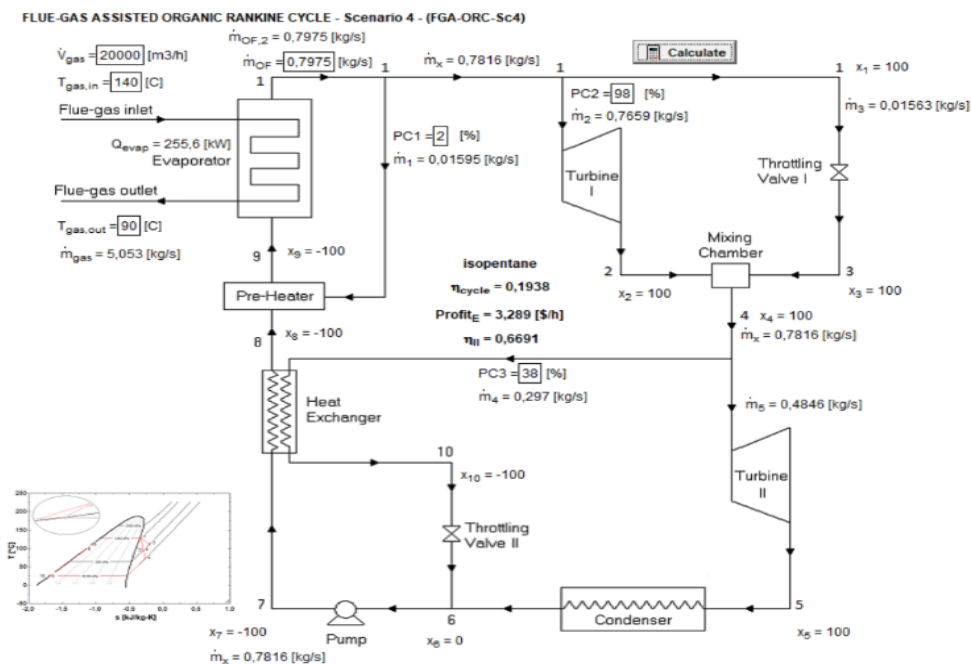
Bu çalışmada öncelikle, termal enerjiyi elektrik ve/veya mekanik enerjiye çeviren bir sistemde en iyi çevrim koşullarını bulmak için bir optimizasyon araştırması yapılmıştır. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasasını temel alan uygun bir matematiksel model ile ORC'lerin enerji ve ekserji yıkımının hesaplanması için gerekli yöntemler verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan ORC modeli Şekil 1'de verilmiştir. Çalışmada verilen matematiksel ifadeler için EES (Engineering Equation Solver) programı kullanılmıştır. Taguchi analizi için ise Minitab programı kullanılmıştır.

ORC'nin birinci ve ikinci yasa analizleri için aşağıdaki birkaç varsayım kabul edilmiştir.

1. Tüm süreçler, ihmal edilebilir potansiyel ve kinetik enerji etkileri olan ve kimyasal veya nükleer reaksiyon içermeyen kararlı hal ve kararlı akıştır.
2. Sisteme ısı geçişi ve sistemden iş geçişi yönleri pozitifdir.
3. Türbin çalışmasının adyabatik verimliliği %80'dir.



Şekil 1. ORC şeması

4. Sirkülasyon pompalarının adyabatik verimleri %85'tir.
5. Basınç düşüşleri göz ardı edilmiştir.
6. Kondenserin çıkış sıcaklığı 25°C dir.
7. Ölü hal koşulu $T_o=20^\circ\text{C}$ ve $P_o=100$ kPa olarak alınmıştır.

2.1. Teorik Analiz

Ram çerçeveleri, tekstil işlemlerinde yüksek oranda kullanılan sürekli kurutuculardır. Bahsedilen tekstil prosesi sonunda yüksek hacimli baca gazı çevreye atılır. Bu nedenle geri kazanıma uygun düşük sıcaklıktaki baca gazı yeni bir enerji kaynağı adayı olarak değerlendirilmektedir.

Belirli bir durumda bir sistemde bulunan enerjinin iş potansiyeli, sistemden elde edilebilecek maksimum faydalı iştir. Bu durum ekserji terimi ile ifade edilir. Ekserji, sistem boyunca akan çok çeşitli akışların (kütle, ısı, iş vb.) yararlı enerjisini veya iş yapma veya alma yeteneğini - iş içeriğini - nicel olarak temsil eder (Cengel ve Boles, 1989). Bu nedenle ekserji analizi, termal sistemlerin tasarımı, analizi ve sınıflandırılması için güçlü bir araçtır. Kinetik ve potansiyel enerji değişimlerini göz ardı ederek, herhangi bir durumda sıvının özgül akış ekserjisi, e , eşitlik 1'den hesaplanabilir.

$$e = h - h_o - T_o(s - s_o) \quad (1)$$

Burada h entalpidir (kJ/kg), s entropidir (kJ/kgK), T sıcaklıktır (K). Özgül ekserji, e , akışkanın kütle akış hızı m ile çarpıldığında ekserji hızı E 'yi verir.

$$\dot{E} = \dot{m}e \quad (2)$$

Entropi dengesinin oran biçimi şu şekilde ifade edilebilir;

$$\frac{\dot{S}_{in} - \dot{S}_{out}}{\text{Net entropy transfer rate}} = \frac{\dot{S}_{gen}}{\text{Entropy generation rate}} \quad (3)$$

ve entropi üretim hızı, S_{gen} , aşağıdaki denklemden hesaplanabilir;

$$\dot{S}_{gen} = \sum \dot{m}_{out} s_{out} - \sum \dot{m}_{in} s_{in} - \sum \frac{\dot{Q}}{T} \quad (4)$$

Burada Q ısı transfer hızıdır. Ekserji yıkım hızı (veya tersinmezlik oranı), I , kararlı hal açık sistem için genel ekserji oranı dengesine dayalı olarak elde edilebilir.

$$I = T_o \dot{S}_{gen} \quad (5)$$

Burada T_o ölü hal sıcaklığıdır. Sistemin toplam ekserji yıkımı I_{TOTAL} , her bir sistem bileşeninin ekserji yıkımlarının toplamı ile sistemin i . cihazının performans oranı olan PR_i aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir;

$$PR_i = \frac{\dot{I}_i}{\dot{I}_{TOTAL}} \quad (6)$$

İkinci yasa verimliliği, η_{II} , bir cihazın performansının, aynı son durumlar için tersinir koşullar altında performansa oranı olarak ifade edilir (Bejan, 2002; Cengel ve Boles, 1989).

$$\eta_{II} = \frac{\eta}{\eta_{rev}} \quad (7)$$

2.1.1. Taguchi Analiz Denklemleri

Maksimum, minimum ve nominal performans değerleri için eşitlik (8), (9) ve (10) kullanılmaktadır (Taguchi, 1990).

$$S/N_{max} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (8)$$

$$S/N_{min} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (9)$$

$$S/N_{nom} = 10 \log \left(\frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) \quad (10)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (11)$$

Burada n bir denemede test sayısı, y_i performans karakteristikleri için simülasyondan elde edilen verinin i . değeri, \bar{y} gözlem değerlerinin ortalaması ve s^2 gözlem değerlerinin varyansdır. Simülasyon ile elde edilen veriler Taguchi yöntemi ile yapılan analiz sonucunda aynı zamanda tahmin edilebilir.

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada öncelikle ORC sürecine etki eden parametreleri (Türbin giriş basıncı P_1 , Çevrim ara basıncı P_2 ve Türbinden ara basınçtaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranı PC_3) optimize etmek için Taguchi metodu kullanıldı. Analizlerde türbin giriş basıncı 1000 kPa, 1200 kPa ve 1311 kPa, çevrim ara basıncı 300 kPa, 350 kPa ve 400 kPa ve türbinden ara basınçtaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranı 30, 35 ve 38 alınmıştır (Çizelge 1). ORC parametrelerinin seviyelerini temsil eden örneklerin sayısal değerleri ve Taguchi L9 ortogonal dizi kullanılarak seçilen simülasyon sırası Çizelge 2'da ifade edilmiştir. Burada verilen değerler Minitab programına girilmiştir. 9 farklı değer ile Taguchi analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler termodinamiğin birinci kanun verimi ve ikinci kanun verimi dikkate alınarak yapıldı. Tüm bu çıktı değerleri maksimum amaç fonksiyonu olarak tanımlandı.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan ORC parametreleri ve seviyeleri

Parametre	Serbestlik derecesi	Level 1	Level 2	Level 3
Türbin Giriş Basıncı (kPa)	2	1000	1200	1311
Çevrim ara basıncı (kPa)	2	300	350	400
Türbinden Ara Basıncıdaki Isı Eşanjörüne Aktarılan Akışkan Oranı	2	30	35	38
Toplam	6			
SD	6			

Çizelge 2. Taguchi ortogonal L9 dizisi kullanılarak seçilen parametreler ve seviyeleri

Ortogonal dizi	Analiz no	Türbin Giriş Basıncı (kPa) P ₁	Çevrim ara basıncı (kPa) P ₂	Türbinden Ara Basıncıdaki Isı Eşanjörüne Aktarılan Akışkan Oranı PC3
111	1	1000	300	30
122	2	1000	350	35
133	3	1000	400	38
212	4	1250	300	35
223	5	1250	350	38
231	6	1250	400	30
313	7	1311	300	38
321	8	1311	350	30
332	9	1311	400	35

3.1. Birinci Kanun Verimi için Optimizasyon Çalışması

ORC çevrimi işleminde 9 farklı senaryoya ile hesaplanan termodinamiğin 1. kanunu verileri Minitab 18 programında Taguchi analiz modülüne girilmiştir. Sonrasında Taguchi analiz metodu kullanılarak ANOVA sonuçları elde edilmiştir. Çizelge 3 elde edilen birinci kanun ve hesaplanan S/N oran değerlerini göstermektedir. En fazla birinci kanun değeri en büyük ortalama S/N oranında elde edilmektedir. Şekil 2a'da hesaplanan ortalama S/N oranlarının analizine göre optimum koşul olan en fazla birinci kanun, en büyük ortalama S/N oranlarının elde edildiği 1311 kPa türbin giriş basıncı, 300 kPa çevrim ara basıncı ve 38 türbinden

ara basınçtaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranı olarak elde edilmiştir. ANOVA metodu bize tüm etmenlerin önemini ve birbiri ile olan etkileşimlerini önceden incelememize imkan sağlar. Bu çalışmada parametrelerin birer birer katkısını elde etmek için ortalama S/N değerlerini kullanarak ANOVA yöntemi incelendi. Çizelge 4'de verilen parametrelerin çevrimin birinci kanunu üzerindeki etki oranları ile ANOVA sonuçları sunulmuştur. Bu yüzde oranları Şekil 2b'de ifade edilmiştir. Rankine çevriminde birinci kanun üzerinde türbin giriş basıncının etkisinin yaklaşık %70,23, çevrim ara basıncının etkisinin %11,35 ve türbinden ara basınçtaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranının etkisinin ise %18,27 olduğu elde edilmiştir. Bu sonuca göre termodinamiğin birinci kanunu üzerine etki eden parametrelerin önem sırası türbin giriş basıncı > türbinden ara basınçtaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranı > çevrim ara basıncı olarak elde edilmiştir. Rankine çevriminde termodinamiğin birinci kanunu üzerinde en önemli parametre türbin giriş basıncıdır. Çizelge 5'de S/N oranı cevap sonuç tablosuna göre de en önemli (1 numaralı) parametrenin türbin giriş basıncı olduğu görülmektedir.

Çizelge 3. ORC çevriminin birinci kanun değerleri ve hesaplanan S/N oranı

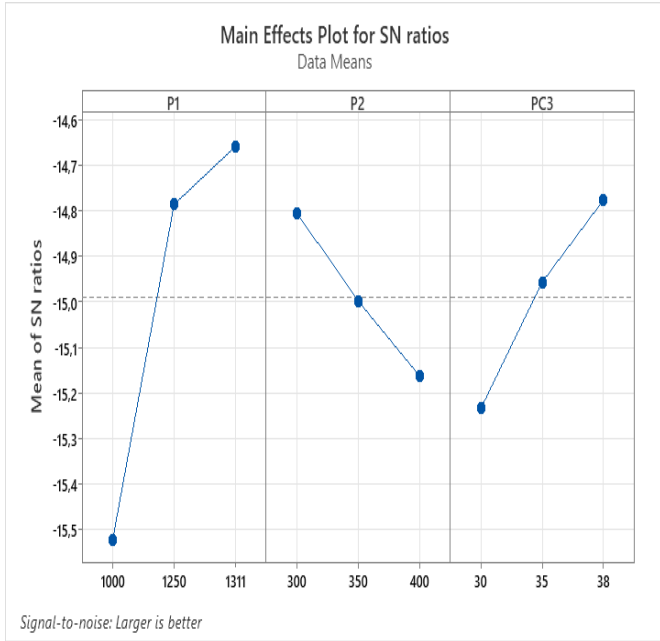
Ortogonal dizi	Termodinamiğin 1.kanunu	S/N oranı
111	0,166	-15,5701
122	0,1681	-15,4886
133	0,1678	-15,5042
212	0,1863	-14,5911
223	0,1867	-14,5725
231	0,1739	-15,1940
313	0,1938	-14,2529
321	0,1792	-14,9332
332	0,1822	-14,7890

Çizelge 4. S/N oranı için varyans analizi

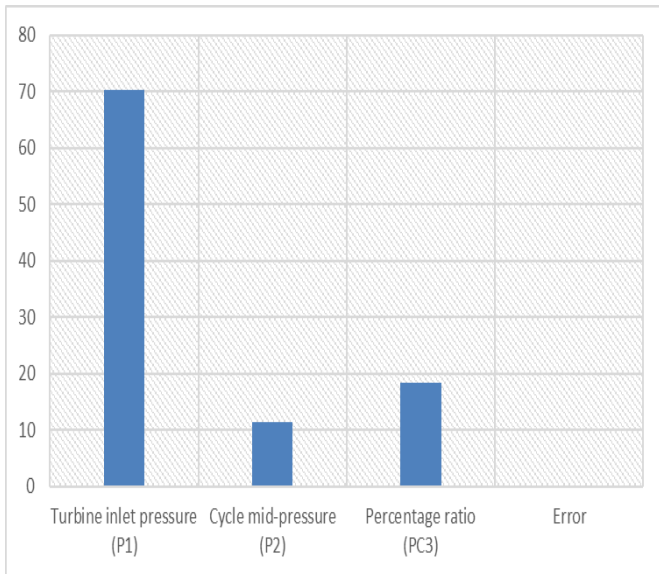
Kaynak	DF	Seq SS	AdjSS	Adj MS	F
P1	2	1,3006	1,3006	0,65031	648,7
P2	2	0,1923	0,1923	0,09618	95,95
PC3	2	0,3164	0,3164	0,15822	157,8
Hata	2	0,0020	0,0020	0,00100	
Total	8	1,8114			

Çizelge 5. S/N oranı için cevap sonuç tablosu

Level	P1	P2	PC3
1	-15,52	-14,80	-15,23
2	-14,79	-15,00	-14,96
3	-14,66	-15,16	-14,78
Delta	0,86	0,36	0,46
Rank	1	3	2



(a)



(b)

Şekil 2. a) Farklı ORC parametreleri için birinci kanunun S/N oranı b) Parametrelerin birinci kanun üzerindeki etki yüzdeleri

3.2. İkinci Kanun Verimi için Optimizasyon Çalışması

ORC çevrimi işleminde 9 farklı senaryoya ile hesaplanan termodinamiğin 2. kanunu verileri Minitab 18 programında Taguchi analiz modülüne girilmiştir. Sonrasında Taguchi analiz metodu kullanılarak ANOVA sonuçları elde edilmiştir. Çizelge 6 elde edilen ikinci kanun ve hesaplanan S/N oran değerlerini göstermektedir. En fazla ikinci kanun değeri en büyük ortalama S/N oranında elde edilmektedir. Şekil 3a'da hesaplanan ortalama S/N oranlarının analizine göre optimum koşul olan en fazla ikinci kanun, en büyük ortalama S/N oranlarının elde edildiği 1311 kPa türbin giriş basıncı, 300 kPa çevrim ara basıncı ve 38 türbinden ara basınçtaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranı olarak elde edilmiştir. Çizelge 7'de verilen parametrelerin çevrimin ikinci

kanunu üzerindeki etki oranları ile ANOVA sonuçları sunulmuştur. Bu yüzde oranları Şekil 3b'de ifade edilmiştir.

Rankine çevriminde ikinci kanun üzerinde türbin giriş basıncının etkisinin yaklaşık %72,38, çevrim ara basıncının etkisinin %9,78 ve türbinden ara basınçtaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranının etkisinin ise %17,74 olduğu elde edilmiştir. Bu sonuca göre termodinamiğin ikinci kanunu üzerine etki eden parametrelerin önem sırası türbin giriş basıncı > türbinden ara basınçtaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranı > çevrim ara basıncı olarak elde edilmiştir. Rankine çevriminde termodinamiğin ikinci kanunu üzerinde de en önemli parametre türbin giriş basıncıdır. Çizelge 8'de S/N oranı cevap sonuç tablosuna göre de en önemli (1 numaralı) parametrenin türbin giriş basıncı olduğu görülmektedir.

Çizelge 6. ORC çevriminin ikinci kanun değerleri ve hesaplanan S/N oranı

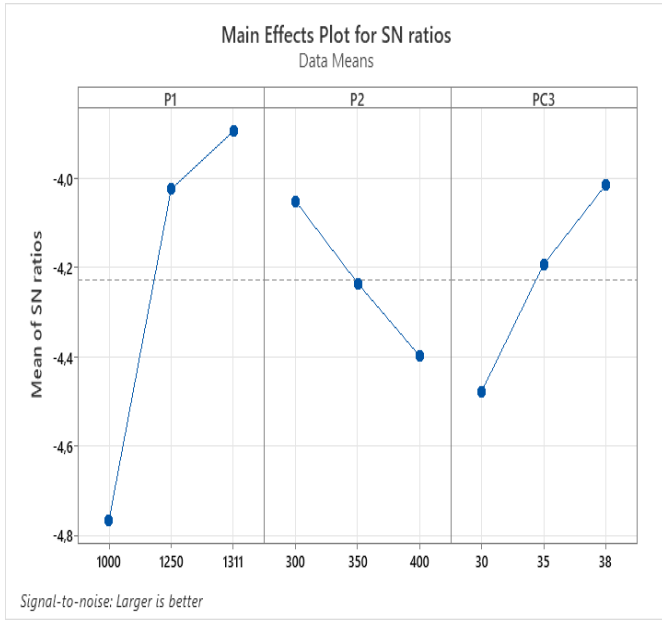
Ortogonal dizi	Termodinamiğin 2.kanunu	S/N oranı
111	0,5731	-4,83590
122	0,5806	-4,72296
133	0,5795	-4,74043
212	0,6434	-3,83038
223	0,6445	-3,81554
231	0,6006	-4,42829
313	0,6691	-3,49148
321	0,6189	-4,16759
332	0,6291	-4,02561

Çizelge 7. S/N oranı için varyans analizi

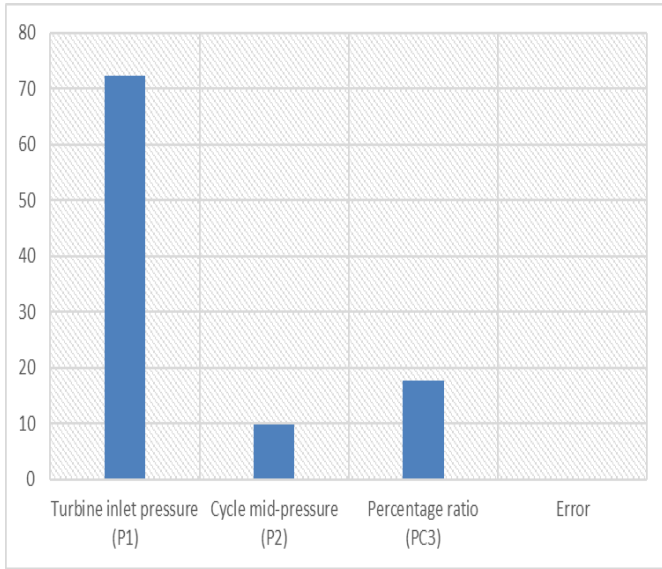
Kaynak	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
P1	2	1,3265	1,3265	0,66327	847,0
P2	2	0,1792	0,1792	0,08964	114,4
PC3	2	0,3251	0,3251	0,16256	207,6
Hata	2	0,00157	0,00157	0,000783	
Total	8	1,83252			

Çizelge 8. S/N oranı için cevap sonuç tablosu

Level	P1	P2	PC3
1	-4,766	-4,053	-4,477
2	-4,025	-4,235	-4,193
3	-3,895	-4,398	-4,016
Delta	0,872	0,346	0,461
Rank	1	3	2



(a)



(b)

Şekil 3. a) Farklı ORC parametreleri için ikinci kanunun S/N oranı b) Parametrelerin ikinci kanun üzerindeki etki yüzdeleri

4. Sonuç

Enerji üretimindeki yüksek maliyetler, daha sıkı çevre mevzuatı ve küresel sürdürülebilir kalkınma hedefleri nedeniyle atık ısı geri kazanım süreçlerinin önemi artmaktadır. ORC'ler, bu açıdan hedeflere ulaşmak için umut verici bir teknolojidir. Bu çalışmada, baca gazı destekli atık ısı geri kazanımı için yüksek verim ve düşük çevresel etkiler sağlamak için organik akışkan olarak izopentan kullanılarak termal mimari incelenmiştir. Sunulan termodinamik ve çevresel analize dayanarak, aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

Bu çalışmada ORC sürecine etki eden parametrelerin (Türbin giriş basıncı P1, çevrim ara basıncı P2 ve türbinden ara basınçtaki ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranı PC3) etkisini incelemek için birinci ve ikinci kanun verim değerleri hesaplanmıştır. ORC çevrimi üzerinde her iki verim değeri için en etkili parametrenin türbin giriş basıncı olduğu görülmüştür.

Birinci ve ikinci kanun değerleri türbin giriş basınç değerinin ve ısı eşanjörüne aktarılan akışkan oranının artışı ile arttığı tespit edilmiştir.

Sunulan optimizasyon stratejisi, bilinen termodinamik kısıtlamalar için farklı termal mimarilerin optimal tasarımını belirlemek için faydalı bir yöntemdir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, temel performans göstergelerine dayalı olarak ORC'ler için optimum kontrol ve operasyon stratejisinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

Kaynakça

- Akbay, O., Yılmaz, F. (2021). Thermodynamic Analyzes and Performance Comparison of Flash Binary Geothermal Power Generation Plant, *El Cezeri*, 8(1), pp.445-461.
- Alirahmi, S.M., Assareh, E., Chitsaz, A., Holagh, S.G., Jalilinasrabad, S. (2021). Electrolyzer-fuel cell combination for grid peak load management in a geothermal power plant: Power to hydrogen and hydrogen to power conversion, *Int J Hydrogen Energy*, 46(50), pp.25650-65.
- Bejan, A. (2002). Fundamentals of exergy analysis, entropy generation minimization, and the generation of flow architecture, *Int. J. Energy Research*, 26, pp.545-565.
- Cengel, Y.A., Boles, B.A. (1989). *Thermodynamics : An engineering approach*. Singapore: McGraw Hill Book Co.
- Etemoglu, A.B. (2008). Thermodynamic evaluation of geothermal power generation systems in Turkey, *Energy Sources, Part A*, 30, pp. 905-916.
- Forman, C., Muritala, I.K., Pardemann, R., Meyer, B. (2016). Estimating the global waste heat potential, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, pp.1568-1579.
- Garcia, S.I., Garcia, R.F., Carril, J.C., Garcia, D.I. (2018). A review of thermodynamic cycles used in low temperature recovery systems over the last two years, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, pp.760-767.
- Imran, M., Haglind, F., Asim, M., Alvi, J.Z. (2018). Recent research trends in organic Rankine cycle technology - A bibliometric approach, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, pp.552-562.
- Kermani, M., Wallerand, A.S., Kantor, I.D., Maréchal, F. (2018). Generic Superstructure Synthesis of Organic Rankine Cycles for Waste Heat Recovery in Industrial Processes, *Applied Energy*, 212, pp.1203-1225.
- Pulat, E., Etemoglu, A.B., Can, M. (2009). Waste heat recovery potential in Turkish textile industry: case study for city of Bursa, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(3), pp.663-672.
- Soltani, M., Nabat, M.H., Razmi, A.R., Dusseault, M.B., Nathwani, J. (2020). A comparative study between ORC and Kalina based waste heat recovery cycles applied to a green compressed air energy storage (CAES) system, *Energy Convers Manag.*, 222, 113203.
- Taguchi, G. (1990). *Introduction to quality engineering*. Asian Productivity Organization, Tokyo.
- Turkan, B., Etemoglu, A.B. (2020). Performance Evaluation For Thermal Architectures of Flue-Gas Assisted Organic Rankin Cycle Systems, *J. of Thermal Science and Technology*, 40(1), pp.65-76.
- Yamamoto, T., Furuhashi, T., Arai, N., Mori, K. (2001). Design and testing of the organic Rankine cycle, *Energy*, 26, pp.239-251.