



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Doğalgaz Yakıtlı Bir Kombine Çevrim Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi: Parametrik Çalışma

## *Energy and Exergy Analyses of a Natural Gas Fired Combined Cycle Power Plant: Parametric Study*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Ahmed Emin KILIÇ<sup>1</sup>, Erol ARCAKLIOĞLU<sup>2</sup>

*ORCID<sup>1</sup>:* 0000-0002-8472-9426

*ORCID<sup>2</sup>:* 0000-0001-8073-5207

**To cite to this article:** Kılıç A. E. ve Arcaklıoğlu E., “Doğalgaz yakıtlı bir kombine çevrim santralinin enerji ve ekserji analizi: Parametrik çalışma”, *Journal of Polytechnic*, 26(2): 721-730, (2023).

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Kılıç A. E. ve Arcaklıoğlu E., “Doğalgaz yakıtlı bir kombine çevrim santralinin enerji ve ekserji analizi: Parametrik çalışma”, *Politeknik Dergisi*, 26(2): 721-730, (2023).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.1038817

# Doğalgaz Yakıtlı Bir Kombine Çevrim Santralının Enerji ve Ekserji Analizi: Parametrik Çalışma

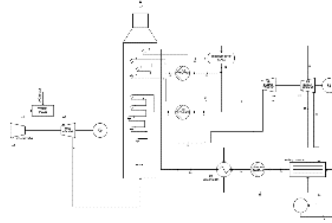
## Energy and Exergy Analyses of a Natural Gas Fired Combined Cycle Power Plant: Parametric Study

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Kombine çevrim santralının enerji ve ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. / Energy and exergy analysis of a combined cycle power plant was conducted.
- ❖ En yüksek ekserji kayıp değerine sahip bileşen yanma odası olarak tespit edilmiştir. / The highest exergy destruction value was determined in the combustion chamber.
- ❖ Ortam sıcaklığının artırılmasıyla santralin ekserji verimi artırılabilir ve yanma odasının ekserji kaybı azaltılabilir. / The exergy efficiency of the power plant can be increased and the exergy destruction rate of the combustion chamber can be reduced by increasing the ambient temperature.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Santralden alınan gerçek ölçüm verileri doğrultusunda kombine çevrim santralının akış şeması oluşturulmuştur. / Flow chart of the combined cycle power plant was constituted according to obtained real data of the power plant.



Şekil. Santralının akış şeması / Figure. Flow chart of the power plant

### Amaç (Aim)

Santralının enerji ve ekserji analizinin gerçekleştirilip parametrik çalışmaların yapılmasıyla, ekserji verimi ile bileşenlerin ekserji yıkımlarının azaltılması. / Increasing exergy efficiency of the power plant and decreasing exergy destruction rate of components by energy and exergy analysis and parametric studies.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

X Santraldeki bileşenlerin gerçek operasyon verileriyle enerji ve ekserji analizi gerçekleştirilerek farklı parametrik çalışmalar uygulanmıştır. / Different parametric studies were conducted by performing energy and exergy analysis with real operation data.

### Özgünlük (Originality)

Parametrik çalışmaların özellikle santralin belirli bileşenlerine uygulanması çalışmanın özgünlüğünü oluşturmaktadır. / Conducting parametric studies for some components specifically constitutes the originality of the study.

### Bulgular (Findings)

Ortam sıcaklığının artırılması ve gaz türbin giriş sıcaklığının azaltılması santralin enerji ve ekserji verimini arttırmıştır. / Increasing the ambient temperature and decreasing gas turbine inlet temperature increased the energy and exergy efficiency of the power plant.

### Sonuç (Conclusion)

Ortam sıcaklığının artırılması santralin ekserji verimini arttırmış yanma odasının ekserji kaybını azaltmıştır. Türbin giriş sıcaklığının artırılması santralin ekserji verimini azaltmıştır. / Increasing the ambient temperature increased the exergy efficiency of the plant and decreased the exergy destruction of the combustion chamber. Increasing the turbine inlet temperature decreased the exergy efficiency of the plant.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Doğalgaz Yakıtlı Bir Kombine Çevrim Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi: Parametrik Çalışma

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Ahmed Emin KILIÇ\*, Erol ARCAKLIOĞLU**

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye  
(Geliş/Received : 20.12.2021 ; Kabul/Accepted : 10.01.2022 ; Erken Görünüm/Early View : 04.02.2022)

## ÖZ

Nükleer, biyoyakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimindeki kullanımları gün geçtikçe artsa da enerji üretiminde fosil yakıt kullanımı yaygın olarak devam etmektedir. Fosil yakıtların daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayan en iyi seçeneklerin başında kombine çevrim santralleri gelmektedir. Brayton ve Rankine çevrimlerinin birleştirilmesinden oluşan bu santraller bir taraftan fosil yakıtları daha verimli kullanırken, diğer yandan çevreye daha az zarar vermektedir. Bu çalışmada doğalgazla çalışan bir kombine çevrim santralinin enerji ve ekserji analizleri, santralin gerçek operasyon verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ortam sıcaklığının ve basıncının sırasıyla 25,4 °C ve 98,1 kPa olduğu şartlarda gerçekleştirilen analizler sonucunda, santralin ekserji verimi % 61,2 olarak bulunurken, en yüksek ekserji kaybına sahip olan bileşen 89 MW ile yanma odası olmuştur. Ekserji verimi en yüksek santral bileşeni ise % 96,4 ile yoğunlaştırıcı olarak tespit edilmiştir. Santralden elde edilen toplam güç 205 MW olarak hesaplanırken Brayton çevriminin gücü 134 MW, Rankine çevriminin gücü 71 MW olarak hesaplanmıştır. Ortam sıcaklığı ile gaz türbini giriş sıcaklığının artırılmasının etkileri bu çalışmada ayrıca incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji, ekserji, kombine çevrim santrali, brayton çevrimi, rankine çevrimi.

## Energy and Exergy Analyses of a Natural Gas Fired Combined Cycle Power Plant: Parametric Study

### ABSTRACT

Despite the increasing use of nuclear, biofuels, and renewable energy sources in energy production, the use of fossil fuels in energy production continues widely. Combined cycle power plants are among the best options that enable the more efficient use of fossil fuels. These power plants, which use a combination of the Brayton and Rankine cycles, use fossil fuels more efficiently while also cause less environmental damage. In this study, energy and exergy analysis of a natural gas-fired combined cycle power plant was carried out using the actual operational data of the power plant. The exergy efficiency of the power plant was determined to be 61.2 % as a result of the analyses performed under conditions where the ambient temperature and pressure were 25.4 °C and 98.1 kPa, respectively, while the component with the highest exergy destruction was the combustion chamber with 89 MW. The condenser was determined to be the most exergy efficient component of the power plant, with a 96.4 % efficiency rating. While the total power obtained from the power plant is 205 MW, the power of the Brayton cycle is 134 MW and the power of the Rankine cycle is 71 MW. In this study, the effects of increasing the ambient temperature and the gas turbine inlet temperature were also investigated.

**Keyword:** Energy, exergy, combined cycle power plant, brayton cycle, rankine cycle.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji, insanoğlunun yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olan en temel ihtiyaçların başında gelmektedir. Dünya nüfusundaki hızlı artış ve teknolojiye sürekli devam eden gelişme, enerjiye olan ihtiyacın önemini ortaya koymaktadır. Enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir veya yenilenemeyen enerji kaynakları kullanılmaktadır. Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmış olsa da dünya genelindeki enerji ihtiyacının % 80'i yenilenemeyen enerji kaynaklarından karşılanmaktadır [1]. Yenilenemeyen enerji kaynaklarından fosil yakıtların kullanımı geçmişten günümüze devam etmektedir. Kömür, doğalgaz ve petrol enerji üretimi için kullanılan en

yaygın fosil yakıtlardır [2]. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (2021) yayınladığı rapora göre, 2019 yılında enerji ihtiyacının karşılanması için kullanılan kaynakların % 31'ini petrol, 27'sini kömür ve 23'ünü doğalgaz oluşturmaktadır.

Dünyadaki enerji ihtiyacının büyük çoğunluğu fosil yakıtlardan karşılanırsa da fosil yakıt kaynakları gün geçtikçe azalmakta ve bu kaynakların kullanılmasıyla oluşan maliyet giderek artmaktadır. Bu nedenle fosil yakıtların verimli bir şekilde kullanılması büyük önem arz etmektedir. Kombine çevrim güç santralleri; daha yüksek verime sahip olması, güç üretim potansiyellerinin daha yüksek olması, kurulum sürelerinin kısa olması, düşük yatırım maliyetine ve düşük emisyon değerlerine sahip olması sebebiyle enerji üretimi için tercih edilecek en iyi seçenekler arasında yer almaktadır. Kombine çevrim güç santralleri bir gaz türbin çevrimi ile bir buhar

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : aekilic@ybu.edu.tr

türbin çevriminin birleştirilmesiyle oluştuğu için, her iki çevrimin ayrı olarak kurulması sonucu elde edilecek verimden daha yüksek verime sahiptir. Bu nedenle, fosil yakıtların bu santrallerde kullanılması enerji üretimi açısından en iyi seçenek olmaktadır [3,4]. Yenilenebilir enerji kaynakları veya nükleer, biyoyakıtlar vb. gibi yenilenemeyen farklı enerji kaynaklarının kullanıldığı güç üretim tesislerinin sayısı gün geçtikçe artmış olsa da halihazırda var olan ve doğalgaz, kömür gibi yakıtların kullanıldığı kombine çevrim güç santralleri ülkemizde ve dünyada aktif olarak kullanılmaya devam etmektedir. Geçmişten günümüze kullanımı devam eden bu santrallerin kapatılmasına ya da devreden çıkarılmasına gerek yoktur. Kullanılmakta olan eski santrallerde gerekli iyileştirmeler yapılarak bu tesislerin hem enerji üretimi açısından daha verimli olması sağlanabilmekte hem de fosil yakıtların çevreye verdiği zararın azaltılması mümkün olmaktadır [5].

Güç üretim santrallerinde hangi iyileştirmelerin yapılacağına tespiti termodinamik analizler sonucu belirlenebilmektedir. Enerjinin korunumu yasasına (termodinamiğin birinci kanunu) göre gerçekleştirilen enerji analizi ile termodinamiğin ikinci kanununu temel alan ekserji analizinin birlikte uygulanmasıyla gerçekleştirilen analizler, güç üretim santrallerinin enerji ve ekserji verimlerini ortaya koymaktadır. Böylece, bir taraftan aktif durumdaki santrallerin iyileştirme seçenekleri belirlenebilirken diğer yandan tasarım aşamasında olan tesislerin hangi operasyon koşullarında en yüksek verimi vereceği ve optimum tasarım parametreleri tespit edilebilmektedir [6]. Termal sistemler için termodinamiğin yalnızca birinci yasasına göre yapılan enerji analizlerinde sistemlerde tersinmezliklerden meydana gelen kayıplar dikkate alınmamaktadır. Termodinamiğin ikinci kanununa göre gerçekleştirilen analizlerde ise termal sistemlerde meydana gelen entropi değişimlerinin yönü, büyüklükleri ile tersinmezliklerden meydana gelen kayıplar tespit edilebilmekte ve böylece termal sistemlerin gerçek enerji potansiyeli belirlenebilmektedir. Enerjinin korunumu mümkünken, ekserjinin korunumu (sistemde ve çevrede meydana gelen tüm süreçlerin tersinir olma durumu hariç) söz konusu değildir. Tersinmez proseslerde ekserji yok edilmektedir. Termal sistemlerin veya süreçlerin ekserji analizleri sonucunda elde edilen ekserji verimleri, o sistemlerin veya süreçlerin ideal sistem veya süreçlere ne kadar yakın olduğu hakkında gerçek ve doğru bilgiyi vermektedir [7]. Enerji ve ekserji analizlerinin birlikte uygulandığı ve bu sayede sistemlerin gerçek verimlerinin elde edildiği farklı birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. Farklı yakıtların kullanıldığı kombine çevrim güç santralleri için de birçok farklı enerji ve ekserji analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Mohtaram ve ark. (2020) bir kombine çevrim güç santralinin enerji, ekserji, eksergoekonomik ve eksergoçevresel analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirilen enerji ve ekserji analizlerinde, santrali oluşturan tüm bileşenler arasında en yüksek ekserji kaybı değerine, yani en düşük ekserji

verimine sahip olan bileşenler yanma odası ve atık ısı geri dönüşüm kazanı (AIGDK) olarak tespit edilmiştir. Yanma odasının bünyesinde meydana gelen kimyasal tepkimeler sonucunda birçok tersinmezliği içermesi sebebiyle, AIGDK bileşeninde ise yüksek ve düşük sıcaklık değişimleri ile gaz basıncı kayıplarının meydana gelmesinden dolayı bu iki bileşenin ekserji verimlerinin düşük olduğu belirtilmiştir. Ayrıca AIGDK girişine bir brülör eklenerek, farklı çevre sıcaklıklarında bileşende meydana gelen ekserji kayıpları ve bileşenin ekserji verimi gözlemlenmiştir. Brülörün olduğu durumda farklı çevre sıcaklıkları için elde edilen ekserji kayıplarının, olmadığı duruma göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [8]. Prakash ve ark. (2019) metan yakıtı kullanan bir kombine çevrim güç santralinin termal ve ekonomik analizini gerçekleştirmişlerdir. Brayton çevriminde yer alan gaz türbini için yapılan termal analizde, türbinin 1400 – 1475 K arasında değişen farklı giriş sıcaklıkları ve 8,7-16,7 arasında değişen farklı çevrim basıncı oranlarında termal verim hesaplanmıştır. Hesaplanan bu verilere göre en yüksek verimin, 1475 K sıcaklıkta ve 10,7 çevrim basınç oranında olduğu saptanmıştır. Buhar türbini çevrimi için yapılan analizlerde ise türbin giriş sıcaklığı 1400 K değerinde sabit tutularak farklı çevrim basınç oranlarının, yine aynı aralıklarda değişiminin türbinin verimine etkisi incelenmiş, artan çevrim basınç oranı ile buhar türbini veriminin düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin ise gaz türbini egzoz gazının sıcaklığının düşüşü ile AIGDK'nın buhar çevrimine daha az buhar üretmesinin olabileceği belirtilmiştir [9]. Khan ve Tlili (2018) bir kombine çevrim güç santralinin termodinamik analizini gerçekleştirmişlerdir. İki farklı çevrim arasında bypass vanasının bulunduğu santralde, farklı türbin giriş sıcaklıklarının ve farklı kompresör sıkıştırma oranlarının bypass vanasının açık veya kapalı olması durumunda santralin toplam güç üretim değerine ve iki farklı çevrim verimlerine olan etkilerinin incelenmesinin yanı sıra, dördüncü bir değişken olarak debinin diğer üç parametreyle birlikte dikkate alındığı parametrik çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda düşük debi, yüksek türbin giriş sıcaklığı ve yüksek kompresör sıkıştırma oranının olduğu durumda bypass vanasının açılmasının, çevrimlerin verimini azalttığı tespit edilmiştir. Yüksek debi, yüksek türbin giriş sıcaklığı ve yüksek kompresör sıkıştırma oranının göz önünde bulundurulduğu durumda ise bypass vanasının kapalı olmasının çevrim verimini arttırdığı gözlemlenmiştir [10]. Şen ve ark. (2018) tarafından, çevriminde dört gaz türbini ve iki buhar türbini içeren doğal gaz yakıtlı bir kombine çevrim güç santrali için 5 – 25 °C aralığındaki farklı çevre sıcaklıkları doğrultusunda gerçekleştirilen çalışmada her bir türbinin çıkış güçleri hesaplanmış, ayrıca iki gaz türbini ve bir buhar türbini içeren iki blok için de farklı çevre sıcaklıklarının bloklarda üretilen toplam güce etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, gaz türbinlerindeki gücün belirtilen sıcaklık aralığında 6 MW, buhar türbinlerinde gücün ise aynı çevre sıcaklığı aralığında yaklaşık 3 MW

azaldığı gözlemlenmiştir. Buradan yola çıkılarak çevre sıcaklığının artmasıyla türbinlerin veriminin azaldığı tespit edilmiştir [11].

Abuelnuor ve ark. (2017) tarafından gerçekleştirilen ve bir kombine çevrim santralinin ekserji analizinin yer aldığı çalışmada, ekserji yıkımının en yüksek olduğu bileşen yanma odası olarak tespit edilmiştir. Yanma odasının toplam ekserji yıkımının % 63'ünü oluşturduğu belirtilirken, % 2,3'lük oran ile en düşük ekserji yıkımına sahip bileşenin yoğunlaştırıcı olduğu belirtilmiştir. Yapılan ekserji analizi sonucunda tüm santralin ekserji veriminin % 49 olduğu hesaplanmıştır [12]. Ahmadi ve ark. (2016) tarafından yapılan buharlı bir güç üretim santralının enerji ve ekserji analizi çalışmasında ise ayrı ayrı yapılan enerji ve ekserji analiz sonuçlarının birbirinden belirgin şekilde farklı olduğu belirtilmiştir. Santral için termodinamiğin birinci yasasına göre yapılan enerji analizi sonucunda en yüksek iyileştirilme potansiyeline sahip olan bileşenin, toplam ısı kaybının % 69,8'lik kısmını oluşturan yoğunlaştırıcı olduğu tespit edilirken, iyileştirilme potansiyelinin en düşük olduğu bileşen ısı kaybının % 10,16'sını oluşturan kazan olarak belirtilmiştir. Termodinamiğin ikinci yasasını temel alan ekserji analizi sonucunda ise en yüksek ekserji kaybına sahip olan bileşenin % 85,66'lık oran ile kazan olduğu tespit edilmiş ve ekserji analizinin önemi vurgulanmıştır. Bunun yanı sıra farklı çevre sıcaklıklarında bileşenlerin ekserji yıkımları ve ekserji verimleri gözlemlenirken, yoğunlaştırıcı basıncının buhar türbininin ürettiği güç üzerine etkisi de incelenmiştir. Yoğunlaştırıcı basıncında gerçekleştirilecek her 0,01 bar değerindeki artışın, güç üretiminde yaklaşık 0,7 MW değerinde bir düşüşe sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. Spesifik olarak 0,09 – 0,32 bar arasında ölçülen güç değerinin 200 MW değerinden 183,7 MW değerine düştüğü belirtilmiş, bu sebeple yoğunlaştırıcı basıncının mümkün olan en düşük seviyede tutulmasının önemi vurgulanmıştır [13]. Şahin ve ark. (2016) Brayton ve Rankine çevrimlerinden oluşan bir kombine çevrim güç santralının enerji, ekserji ve eksergoekonomik analizlerini gerçekleştirmiş ve analizler sırasında santralin bulunduğu bölgenin sahip olduğu 20 – 40 °C arasında değişen sıcaklık ve % 49 oranındaki nem gibi çevresel koşulların santralin performansında meydana getirdiği değişiklikleri gözlemlemiştir. Yapılan analizlerde, gaz türbini için dış sıcaklık arttığında türbinin enerji ve ekserji veriminin azaldığı belirlenmiş, özellikle 40 °C seviyesinden yukarıdaki sıcaklıklarda her iki veriminde ciddi oranda düştüğü tespit edilmiştir. Dış sıcaklığın verimler üzerindeki etkisi kadar olmasa da nem oranındaki artışların da enerji ve ekserji verimliliğini düşürdüğü belirtilmiştir. Ekserji verimliliğinin düşmesinin sebeplerinin, artan dış çevre sıcaklığı ve nem oranıyla birlikte tersinmezliklerin artması ve santralin net gücünün azalması olduğu vurgulanmıştır [14].

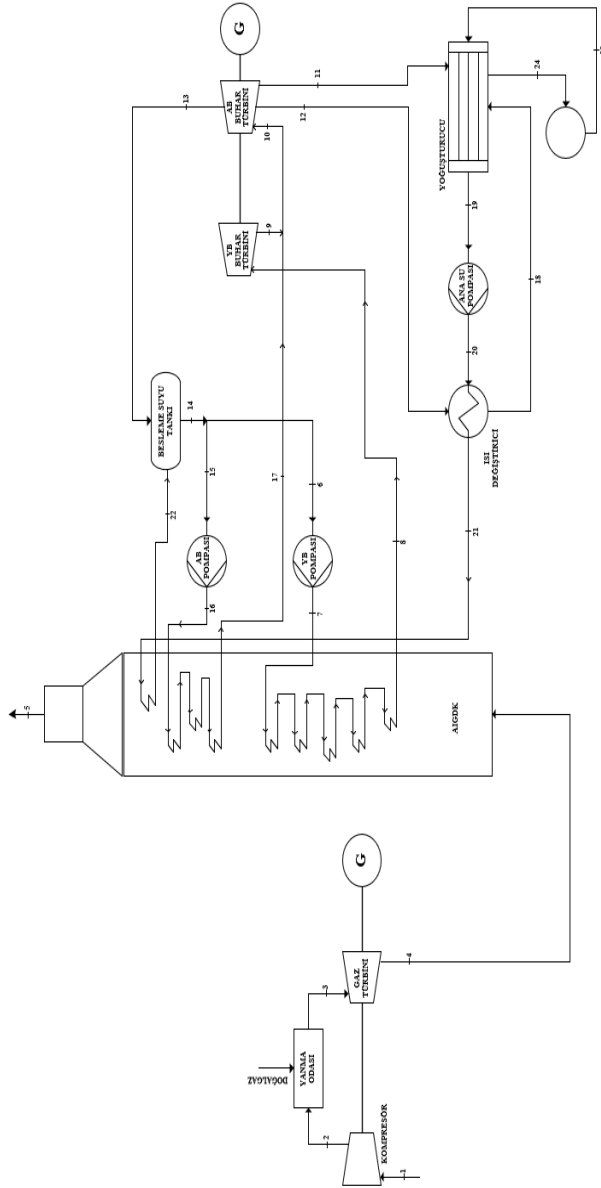
Bu çalışmada doğalgaz yakıtlı gerçek bir kombine çevrim güç santralının enerji ve ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. Santralin kumanda odasından alınan gerçek çalışma verileri doğrultusunda gerçekleştirilen

analizler sonucunda, her bir bileşenin sahip olduğu giriş ve çıkış akımlarının enerji ve ekserji değerleri ile her bir bileşenin ekserji kayıpları hesaplanmıştır. Ayrıca her bir bileşenin ve santralin tamamının termodinamiğin ikinci yasasına dayanan ekserji verimleri ile gaz türbini ve buhar türbini net güç çıktıları hesaplanarak santralin ürettiği toplam güç hesaplanmıştır. Bunların dışında kombine çevrim santrali için elde edilen enerji ve ekserji analizi sonuçları doğrultusunda hem santralin hem de bileşenlerin ekserji verimlerini arttıracak, ekserji kayıplarını azaltacak farklı parametrik çalışmalar da gerçekleştirilmiştir. Santralin ekserji veriminin artırılması için özellikle santraldeki en yüksek ekserji kayıp değerlerine sahip olan yanma odası, gaz türbini ve AIGDK bileşenlerinin ekserji kayıplarını azaltmaya yönelik çalışmalar gerçekleştirilerek, santralin verimini arttıracak ek bir bileşenin dahil edilmesi dışında, maliyetin azaltılması amacıyla ekserji kaybı yüksek bileşenlerin tespit edilip bu bileşenlere müdahale edilme seçeneği belirtilmiştir. Gerçekleştirilen tüm analizler ve çalışmalar için Engineering Equation Solver (EES) paket programı kullanılmıştır.

## 2. KOMBİNE ÇEVİRİM SANTRALİNİN TANITILMASI (DESCRIPTION OF THE COMBINED CYCLE POWER PLANT)

Kombine çevrim santrali, gaz türbin çevrimi (Brayton çevrimi) ve buhar türbin çevriminin (Rankine çevrimi) atık ısı geri dönüşüm kazanı (AIGDK) ile bağlantısı sonucu oluşmaktadır. Kombine çevrim santralının verimi, iki farklı çevrimin kombine edilmesiyle oluştuğu için, her bir santralden ayrı ayrı elde edilecek verimden daha yüksektir. Santralde yer alan Brayton çevrimi için yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Kompresörde sıkıştırılarak basıncı ve sıcaklığı artırılan hava, yanma odasında doğalgaz ile sabit basınçta yakıldıktan sonra sahip olduğu enerjiyi gaz türbini kanatlarına aktararak türbin kanatlarının dönmelerini sağlamaktadır. Türbin kanatlarının dönmesiyle elde edilen mekanik enerji jeneratörün bağlı olduğu mili döndürerek elektrik enerjisi üretmektedir. Gaz türbininden çıkan atık egzoz gazı AIGDK'ya gönderilerek, Rankine çevriminde kullanılacak yüksek sıcaklığa sahip buharın ısıtılması için kullanılmaktadır. AIGDK'da yer alan boru demetlerine ısısını aktaran egzoz gazı bacadan atmosfere atılmaktadır. Rankine çevriminde yer alan bileşenlerden yüksek basınç buhar türbinine giren kızgın buhar türbin kanatlarını döndürerek mekanik enerji üretmektedir. Buradan ayrılan buharın sahip olduğu kalan enerji potansiyeli alçak basınç türbininde değerlendirilmekte ve alçak basınç türbin kanatlarını döndürerek mekanik enerjiye dönüştürülmektedir. Yüksek basınç türbini ve alçak basınç türbininden elde edilen toplam mekanik enerji, her iki türbine bağlı olan jeneratör milini döndürerek elektrik enerjisi üretilmektedir. Doğalgaz yakıtlı kombine çevrim santralinde gerçekleştirilen tüm operasyonların yürütülüp takip edildiği kumanda odasından analizlerde kullanılan ve bileşenlerin giriş ve çıkış borularındaki sensörlerden okunan gerçek ölçüm

değerleri temin edilerek, bu doğrultuda oluşturulan santralin şematik görünümü Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Kombine çevrim santralinin şematik görünümü (Schematic view of the combined cycle power plant)

### 3. YÖNTEM (METHODOLOGY)

Güç üretim santrallerinin analizi hem etkili bir değerlendirme hem de kaynakların verimli kullanımı için oldukça önemlidir. Geçmişte yaygın olarak gerçekleştirilen analizlerde yalnızca termodinamiğin birinci yasasını ifade eden enerjinin korunumu dikkate alınmıştır. Ancak günümüzde, termodinamiğin birinci ve ikinci yasasının birlikte uygulandığı analizler gerçekleştirilmektedir. Her iki analizin kombine bir şekilde uygulanmasıyla birlikte santralleri oluşturan her bir bileşenin giriş ve çıkışında sahip olduğu akımların ekserji değerleri ve bileşenlerin ekserji kayıpları tespit edilerek ekserji verimlilikleri hesaplanabilmekte ve

böylece santrallerin gerçek verimi hakkında doğru bilgi elde edilebilmektedir [15]. Bu çalışmada dikkate alınan kombine çevrim santrali için de yalnızca enerji korunumu yasasına göre gerçekleştirilen analiz, santralde meydana gelen kayıplar, verimsizlikler ve iyileştirme potansiyelleri hakkında doğru bilgiyi vermeyecektir. Bu sebeple kombine çevrim santralinin analizi, termodinamiğin birinci ve ikinci yasasının birlikte uygulandığı yöntemle gerçekleştirilecektir. Kombine çevrim santrallerinde meydana gelen tüm enerji dönüşüm işlemi tersinmez olarak gerçekleşmektedir. Santralde çok yüksek sıcaklıklarda meydana gelen ısı transferleri, kimyasal tepkimeler, farklı maddelerin karışımı ve faz değişimleri sebebiyle herhangi bir tersinmez enerji dönüşümü işlemi gerçekleşmemektedir. Santralin analizi bazı kabuller doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Havanın ve egzoz gazının ideal gaz olduğu, yanma odasında meydana gelen yanma tepkimesinin % 100 oranında tamamlandığı, kinetik ve potansiyel enerjilerin ihmal edildiği, santrali oluşturan tüm bileşenlerin zamandan bağımsız sürekli akışlı olduğu bu kabuller arasında yer almaktadır.

Santrali oluşturan her bir bileşen için; iş çıkışı, ısı transferi, tersinmezlik (ekserji yıkımı), ekserji değeri, enerji ve ekserji verimlilikleri değerlerinin hesaplanabilmesi, bileşenler bazında yazılacak denge denklemlerine bağlıdır [16]. Bu denklemler kütle, enerji, entropi ve ekserji denge denklemleri şeklinde sıralanmaktadır. Sürekli akışlı açık bir sistem için kütle korunumu yasasına göre yazılan kütle denge denklemi;

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

şeklinde yazılmaktadır. Burada  $\dot{m}$  akışkanın kütle hızını temsil etmektedir. Kinetik ve potansiyel enerjilerin ihmal edildiği sürekli akışlı açık sistemler için birim zaman başına enerji dengesi, termodinamiğin birinci yasası ile ifade edilen enerji korunumu ilkesine göre aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum_c \dot{m}_c h_c - \sum_g \dot{m}_g h_g \quad (2)$$

$\dot{Q}$  ve  $\dot{W}$  sırasıyla ısı transferi ve işi ifade ederken,  $h$  entalpiyi temsil etmektedir. Sürekli akışlı açık sistem ile  $T_0$  sıcaklığındaki sistem çevresi arasında, birim zamandaki entropi dengesi;

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = \sum_c \dot{m}_c s_c - \sum_g \dot{m}_g s_g + \sum \frac{\dot{Q}}{T_0} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada  $\dot{Q}/T_0$  ısı transferi sonucu oluşan entropi transferini ( $\dot{S}_{\text{ısı}}$ ) ifade ederken,  $\dot{m} s$  ise kütle ile ilişkili entropi transferini ( $\dot{S}_{\text{kütle}}$ ) ifade etmektedir.

Santrali oluşturan bileşenlerin ekserji değerleri; kinetik, potansiyel fiziksel ve kimyasal ekserjilerin toplamı ile hesaplanmaktadır. Kinetik ekserji ve potansiyel ekserji, santraller için gerçekleştirilen analizlerde ihmal edilmektedir [17]. Kimyasal tepkimelerin gerçekleştiği yanma odası gibi bileşenlerde her iki ekserji türü dikkate alınırken, bu tepkimelerin olmadığı bileşenler için yalnızca fiziksel ekserji dikkate alınmaktadır. Bir b

bileşeni için fiziksel ekserji denge denklemi aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$\sum_g \dot{m}_g e_g - \sum_c \dot{m}_c e_c - T_0 \dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{W} - \sum_b 1 - \left(\frac{T_0}{T_b}\right) \dot{Q}_b \quad (4)$$

Denklemden yer alan  $\sum_k 1 - \left(\frac{T_0}{T_b}\right) \dot{Q}_b$  elemanı  $T_b$  sıcaklığında ısı yoluyla meydana gelen net ekserji transferini ( $\dot{E}x_{\text{isi}}$ ),  $T_0 \dot{S}_{\text{üretim}}$  elemanı ise ekserji kaybını ( $\dot{E}x_{\text{kayıp}}$ ) ifade etmektedir. Özgül fiziksel ekserji ( $e_{\text{fiz}}$ ) ve toplam fiziksel ekserji ( $\dot{E}x_{\text{fiz}}$ ) denklemleri aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$e_{\text{fiz}} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5)$$

$$\dot{E}x_{\text{fiz}} = \dot{m} e_{\text{fiz}} \quad (6)$$

Kimyasal ekserji, içerisinde yanma gibi kimyasal reaksiyonların gerçekleştiği bileşenler için dikkate alınmaktadır. Kombine çevrim santrali için bu bileşen yanma odasıdır. Yanma odasında kompresörden basıncı artırılan hava ile doğalgaz tamamen yakılmakta böylece kimyasal ekserji meydana gelmektedir. Toplam kimyasal ekserji denge denklemi;

$$\dot{E}x_{\text{kim}} = \dot{m}_{\text{yakıt}} e_{\text{kim}} \quad (7)$$

şeklinde yazılmaktadır. Burada  $e_{\text{kim}}$  yakıt karışımının molar bazdaki kimyasal ekserjisini ifade etmektedir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır [3,18].

$$e_{\text{kim}} = \sum_{i=1}^n x_i e_{\text{kim},i} + RT_0 \sum_{i=1}^n x_i \ln x_i + G_E \quad (8)$$

Burada  $x_i$  yakıt karışımındaki  $i$ 'nci bileşenin mol fraksiyonunu,  $e_{\text{kim},i}$  molar kimyasal ekserjiyi ve  $G_E$  Gibbs serbest enerjisini ifade etmektedir. Gaz karışımının düşük olması durumunda Gibbs serbest enerjisi ihmal edilebilmektedir [3,18].

Bir bileşen için toplam ekserji denge denklemi ise aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$\dot{E}x = \dot{E}x_{\text{fiz}} + \dot{E}x_{\text{kim}} \quad (9)$$

Enerji ve ekserji verimlilikleri ise sırasıyla aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanmaktadır.

$$\eta = \frac{\dot{E}_g}{\dot{E}_{g,\text{toplamlar}}} \quad (10)$$

$$\eta_{II} = 1 - \frac{\dot{E}x_{\text{yıkım}}}{\dot{E}x} \quad (11)$$

Enerji ve ekserji analizinde kullanılan ve her bir bileşen için ayrı ayrı oluşturulan kütle, enerji, entropi ve ekserji denge denklemleri örnek olarak, bir giriş, bir çıkış ve bir güç girdisine sahip olan kompresör için sırasıyla aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (12)$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{W}_{g,\text{komp}} = \dot{m}_2 h_2 \quad (13)$$

$$\dot{m}_1 s_1 + \dot{S}_{\text{üretim,komp}} = \dot{m}_2 s_2 \quad (14)$$

$$\dot{m}_1 e_{x1} + \dot{W}_{g,\text{komp}} = \dot{m}_2 e_{x2} + \dot{E}x_{\text{kayıp,komp}} \quad (15)$$

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışmada doğalgaz yakıtı kullanan bir kombine çevrim santralinin enerji ve ekserji analizi gerçekleştirilmiş olup, santralde meydana gelen ekserji değerlerinin (ekserji verimi, ekserji yıkımı ve ekserji oranı) spesifik bileşenler temelinde yapılan farklı parametrik çalışmalar sonucunda nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Santralin akış şeması, santralden alınan bilgiler doğrultusunda oluşturulmuş, yine santralin kumanda odasından alınan gerçek operasyon değerleri ile EES paket programı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Santraldeki operasyon değerleri hava sıcaklığının 25,4 °C ve basıncının 98,1 kPa olduğu koşulda temin edilmiştir. Kompresör tarafından bu değerlerde alınan hava basıncı yükseltilecek yanma odasında doğalgaz ile yakıldıktan sonra 1050 °C sıcaklığında gaz türbinine girmekte, ardından 565 °C sıcaklığında gaz türbininden ayrılmaktadır. Sonrasında AIGDK'da yer alan boru demetlerine ısısını aktardıktan sonra bacadan atmosfere salınmaktadır. Boru demetlerinde dolaştırılan su, gaz türbini egzoz gazının sıcaklığı ile buharlaştıktan sonra, ilk olarak yüksek basınç buhar türbinde (YBT) enerjisini türbin kanatlarına aktararak türbine bağlı şaftı döndürmektedir. Ardından kalan enerjisini alçak basınç buhar türbinde (YBT) kanatlarına aktarmakta ve bu türbine bağlı şaftı döndürmektedir. YBT ve ABT bağlı şaftın dönmesiyle mekanik enerji, yine aynı şafta bağlı jeneratörü döndürerek elektrik enerjisi dönüştürülmektedir. Çizelge 1'de santraldeki bazı bileşenlerin genel verileri yer

**Çizelge 1.** Kombine çevrim santralinin bazı genel verileri (Some data of the combined cycle power plant)

Parametre	Değer	Birim
Çevre sıcaklığı	25,4	°C
Çevre basıncı	98,1	kPa
Gaz türbin giriş sıcaklığı	1050	°C
Gaz türbin çıkış sıcaklığı	565	°C
Gaz türbini izantropik verimi	83,5	%
YB buhar türbini izantropik verimi	92,5	%
AB buhar türbini izantropik verimi	79,7	%
Kompresör izantropik verimi	93	%
YB izantropik pompa verimi	89,5	%
AB izantropik pompa verimi	86,8	%

almaktadır.

Santralin akış şemasında yer alan her bir noktanın sahip olduğu gerçek operasyon verileri EES paket programı ile analiz edilip, her bir noktanın entalpi, entropi, enerji ve ekserji değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler Çizelge 2'de gösterilmektedir.

**Çizelge 2.** Santralde yer alan noktaların termodinamik değerleri (Thermodynamic values of the plant)

Boru No	$\dot{m}$ [kg/s]	$T$ [°C]	$P$ [kPa]	$h$ [kJ/kg]	$s$ [kJ/kgK]	$\dot{E}$ [kW]	$\dot{E}_x$ [kW]
1	500	25,4	98,1	299	5,706	149.500	0
2	500	350	980	598,4	5,742	299.200	144.645
3	511,4	1050	980	1433	6,642	732.836	473.207
4	511,4	565	103,3	878,2	6,779	449.111	132.316
5	511,4	106,1	98,1	380,3	5,947	194.485	4772
6	60,25	101,2	150	424,2	1,32	25.558	86.430
7	60,25	102	7548	432,8	1,323	26.076	86.906
8	60,25	467,4	6008	3344	6,776	201.476	164.210
9	60,25	210,9	507,5	2778	6,883	167.374	128.195
10	74,18	190,6	508,4	2834	7,007	210.226	159.256
11	73,55	37,53	7,5	2316	7,428	170.342	110.571
12	0,14	97,24	110	2615	7,156	366	263.7
13	0,49	122,1	250	2726	6,799	1336	1029
14	74,18	101,2	150	424,2	1,32	31.467	106.413
15	13,93	101,2	150	424,2	1,32	5909	19.983
16	13,93	104,5	2500	427	1,321	5948	20.018
17	13,93	190,2	504	2834	7,01	39.478	29.887
18	0,14	32	98,4	134,1	0,464	18,77	196
19	73,69	37,11	88	155,5	0,5335	11.459	103.223
20	73,69	37,2	720	156,2	0,5338	11.510	103.270
21	73,69	41,7	700	175,2	0,5946	12.910	103.332
22	73,69	97,82	150	409,9	1,282	30.205	105.501
23	11006	24,41	127	102,4	0,3586	1.127.014	1.541.000
24	11006	2922	127	122,5	0,4257	1.348.235	1.541.000

Santrali oluşturan bileşenlerden; gaz türbini, YB ve AB buhar türbinleri, gaz türbin çevrimi ve buhar türbin çevriminin hesaplanan net güç değerleri Çizelge 3'te yer almaktadır.

**Çizelge 3.** Bileşenlerin net güç üretimleri (Net power generations of the system components)

Bileşen	$\dot{W}_{net, \text{ürt}}$ [MW]
Gaz türbini	283,913
YB buhar türbini	34,093
AB buhar türbini	38,175
Buhar türbinleri	72,268
Gaz türbin çevrimi	134,188
Buhar türbin çevrimi	71,654

Kombine çevrim santralin yer alan her bir bileşen için oluşturulan kütle, enerji, entropi ve ekserji denge denklemleri ile Çizelge 2'de yer alan, bileşenlerin giriş ve bulunan borulardan geçen akışkanların gerçek termodinamik değerleri kullanılarak Çizelge 4'deki ekserji yıkım değerleri hesaplanmıştır. Santrali oluşturan her bir bileşen için hesaplanan ekserji yıkım

değerlerinden en yüksek değere sahip olan bileşen yanma odası olurken en düşük değere sahip bileşen alçak basınç pompası olmuştur.

**Çizelge 4.** Santraldeki bileşenlerin ekserji kayıpları (Exergy destruction of the system components)

Bileşen	$\dot{E}_{x, \text{kayıp}}$ [kW]
Kompresör	5379
Yanma odası	89161
Gaz türbini	20978
AIGDK	13188
AB pompası	4,159
YB pompası	43,41
Ana su pompası	7,96
YB buhar türbini	1921
AB buhar türbini	9217
Yoğuşturucu	7866
Isı değiştirici	1055
Besleme suyu tankı	49,19



Santraldeki bileşenlerin ekserji verimleri Çizelge 5'te, kombine çevrim santralının enerji ve ekserji verimleri ise Çizelge 6'da yer almaktadır.

**Çizelge 5.** Bileşenlerin ekserji verimleri (Exergy efficiencies of the components)

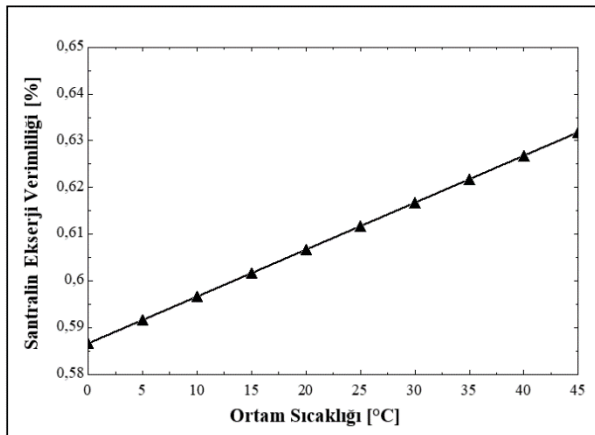
Bileşen	$\eta_{II}$ [%]
Kompresör	96,41
Yanma odası	75,62
Gaz türbini	49,85
AB pompası	89,44
YB pompası	91,64
YB buhar türbini	94,66
AB buhar türbini	53,99
Yoğuşturucu	93,14
Besleme suyu tankı	40,61

**Çizelge 6.** Kombine çevrim santralının enerji ve ekserji verimleri (Energy and exergy efficiencies of the combined cycle power plant)

Bileşen	$\eta_{II}$ [%]	$\eta$ [%]
Kombine çevrim santrali	61,22	47,45

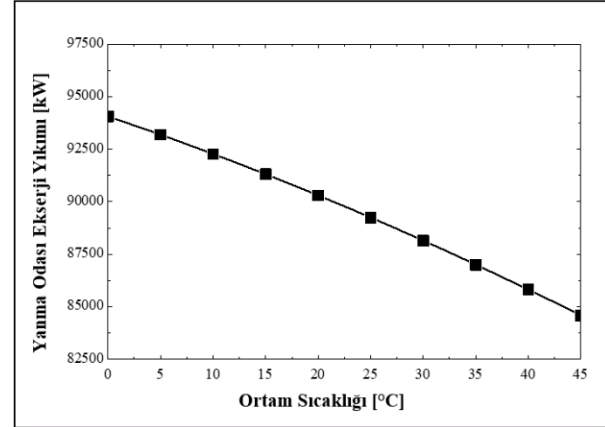
#### 4.1 Ortam Sıcaklığının Etkisi (Impact of the Ambient Temperature)

Bu bölümde ortam sıcaklığının değişiminin santral ekserji verimine etkisi ile santrali oluşturan ve en yüksek ekserji kayıp değerlerine sahip olan yanma odası, gaz türbini ve AIGDK'nın, ortam sıcaklığının değişmesiyle ekserji kayıp değerlerinin nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Parametrik çalışma gerçekleştirilirken santraldeki parametrelerden yalnızca ortam sıcaklığı değerleri değiştirilmiş, diğer parametreler sabit tutulmuştur.



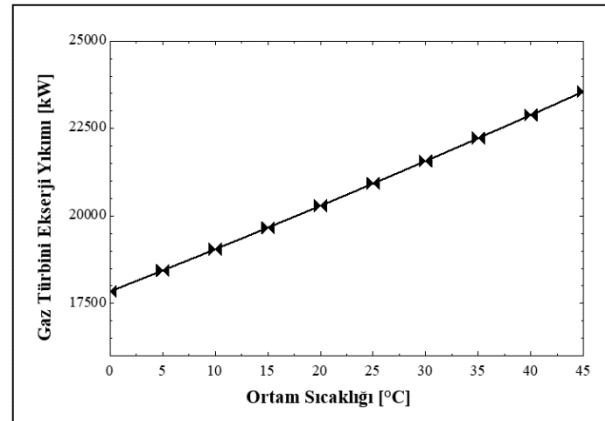
**Şekil 2.** Ortam sıcaklığının santral ekserji verimine etkisi (Impact of the ambient temperature on the combined cycle power plant)

Şekil 2 incelendiğinde, ortam sıcaklığının artmasıyla kombine çevrim santralının sahip olduğu ekserji veriminin arttığı gözlemlenmektedir. 0 ile 45 °C arasında değişen ortam sıcaklığı sonucunda, kombine çevrim santrali ekserji veriminde % 7,7'lik bir artış görülmektedir. Santralde yer alan ve analizler sonucunda en yüksek ekserji kayıp değerlerine sahip olan yanma odası, gaz türbini ve AIGDK için gerçekleştirilen parametrik çalışmada ortam sıcaklığı değişimi aynı aralıkta tutulup, bu bileşenlerin ekserji yıkımlarındaki değişimler ayrı ayrı incelenmiştir.



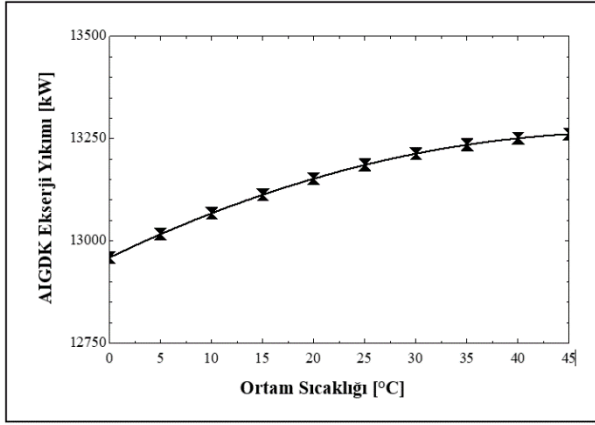
**Şekil 3.** Ortam sıcaklığının yanma odasının sahip olduğu ekserji kayıp değerine etkisi (Impact of ambient temperature on the exergy destruction of the combustion chamber)

Şekil 3'de ortam sıcaklığının artmasıyla yanma odasında meydana gelen ekserji kaybının azaldığı gözlemlenmiştir. Ekserji kaybındaki azalış % 11,2 oranında gerçekleşmiştir. Şekil 4'te ise ortam sıcaklığının artmasıyla gaz türbininde meydana gelen ekserji kaybının % 32 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Gaz türbini ekserji kaybında meydana gelen artış türbinin ekserji verimini olumsuz etkilerken, yanma odasının ekserji kaybının azalması bu bileşenin ekserji veriminin artması anlamına gelmektedir. Yanma odasında meydana gelen ekserji kaybındaki azalış, bileşenin giriş ve çıkış sıcaklığı arasındaki farkın azalmasından dolayıdır. Aynı şekilde gaz türbini giriş ve çıkış sıcaklığının artması sonucu burada meydana gelen ekserji kaybı artmıştır.



**Şekil 4.** Ortam sıcaklığının gaz türbininin sahip olduğu ekserji kaybı değerine etkisi (Impact of ambient temperature on the exergy destruction of the gas turbine)

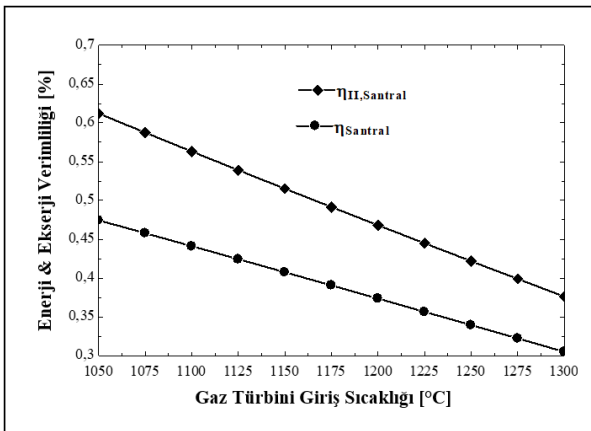
Şekil 5'te ise aynı sıcaklık aralığında AIGDK'da meydana gelen ekserji kaybının ilişkisi yer almaktadır. Burada artan ortam sıcaklığı doğrultusunda AIGDK ekserji kaybının artma eğilimi gösterdiği ancak ardından azalmaya başladığı fark edilmektedir. AIGDK'nın ekserji kaybında meydana gelen % 2,4 oranında artış, gaz türbininde meydana gelen durumda olduğu gibi, bileşenin giriş ve çıkış sıcaklıklarının artmasından dolayıdır. Belirli bir seviyeden sonra artışın durmasının sebebi olarak AIGDK bünyesinde meydana gelen sıcaklık farklılığının, Rankine çevrimine gönderilen buharın ısıtılmasında kullanılmasıyla azaldığı ve dengeye geldiği değerlendirilmiştir.



Şekil 5. Ortam sıcaklığının AIGDK'nın sahip olduğu ekserji kayıp değerine etkisi (Impact of ambient temperature on the exergy destruction of the HRSG)

#### 4.2 Gaz Türbini Giriş Sıcaklığının Etkisi (Impact of the Gas Turbine Inlet Temperature)

Gaz türbini sıcaklığındaki değişimin kombine çevrim santralının sahip olduğu enerji ve ekserji verimliliğine etkisi bu bölümde yer almaktadır. Gaz türbini giriş sıcaklığı değerleri 1050 ile 1300 °C arasında değişiklik göstermektedir. Bu değer aralığında diğer parametreler sabit tutularak santralin enerji ve ekserji verimliliğinin değişimi Şekil 6'da yer almaktadır.



Şekil 6. Gaz türbini giriş sıcaklığının santralin enerji ve ekserji verimliliğine etkisi (Impact of gas turbine inlet temperature on the energy and exergy efficiencies of the combined cycle power plant)

Şekil 6 incelendiğinde, gaz türbini giriş sıcaklığının artmasıyla kombine çevrim santralının sahip olduğu enerji ve ekserji verimliliğinin azaldığı gözlemlenmektedir. Gaz türbini giriş sıcaklığının 1050 – 1300 °C aralığında artırılması sonucunda ekserji veriminin % 62,7 oranında, enerji verimliliğinin ise % 55,6 oranında azalmıştır.

#### 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Kombine çevrim santralleri azalmakta olan fosil yakıtların daha verimli bir şekilde değerlendirildiği enerji üretim tesisleridir. Doğalgaz ile çalışan kombine çevrim santralleri hem yakıtı daha verimli kullanmakta hem de enerji üretirken çevreye daha az zarar vermektedir. Bu santrallerin geleneksel yöntemler kullanarak analiz edilmesi, santrallerdeki kayıpları ve verimsizlikleri gerçek anlamda ortaya çıkarmamaktadır. Termodinamiğin birinci yasasına göre gerçekleştirilen enerji analizi bu sebeple santrallerin analizi için yeterli olmamaktadır. Bu eksiliğin giderilmesi termodinamiğin ikinci yasasına dayanan ekserji analizinin gerçekleştirilmesi ile mümkündür. Ekserji analizi ile santralde meydana gelen verimsizlikler doğru şekilde tespit edilirken, santrali oluşturan bileşenler için elde edilen ekserji kayıpları sayesinde hangi bileşen için müdahale gerektiği tespit edilebilmektedir. Bu sebeple enerji üretim santralleri için ekserji analizleri oldukça yararlı olarak gerçekleştirilmektedir.

Doğalgazı yakıt olarak kullanan bir kombine çevrim santralının akış şeması oluşturulup, santralin kumanda odasından alınan gerçek operasyon verileri ile enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Santrali oluşturan her bir bileşenin giriş ve çıkış borularındaki termodinamik veriler ile bileşenlerin ekserji ve enerji değerleri hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda ekserji kaybının en yüksek olduğu bileşen yanma odası olarak tespit edilmiş ve yanma odasında meydana gelen ekserji kaybı 89.161 kW olarak hesaplanmıştır. Yanma reaksiyonu ile meydana gelen kimyasal tepkimeler ve yanma odasının giriş ve çıkış sıcaklıklarındaki farkın fazla olması bunun en önemli sebeplerindedir. Gaz türbini ile buhar türbinlerinin ürettikleri net güç değerleri sırasıyla 134 MW ve 71 MW olarak hesaplanıp, santralin toplam net güç değeri 205 MW olarak bulunmuştur. Bileşenlerin ekserji verimlilikleri incelendiğinde en yüksek ekserji verimine sahip olan bileşen % 96,4'lük verim ile kompresör olmuştur. Santrali oluşturan Brayton çevrimi ve Rankine çevrimi ile santralin toplam ekserji verimleri sırasıyla % 49,8, 58,8 ve 61,2 olarak hesaplanmıştır.

Santral için gerçekleştirilen enerji ve ekserji analizinden sonra, tesisin performansını ve verimini arttıracak parametrik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. EES paket programıyla [19] gerçekleştirilen parametrik çalışmalarda, santralde kullanılan hava ve su akışkanlarının özellikleri programın kendi kütüphanesinden alınmıştır. Yapılan parametrik çalışmalarda ortam sıcaklığı (kompresöre giren havanın sıcaklığı) ve gaz türbini giriş sıcaklıkları olmak üzere iki ana unsur üzerinde durulmuştur. Ortam sıcaklığının

arttırılmasıyla, santralin ekserji verimliliğinin % 7,7 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Ortam sıcaklığının değişmesiyle, santraldeki en yüksek ekserji yıkım değerlerine sahip olan üç bileşenin, bu değerlerinin nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Yanma odasının ekserji kayıp değeri ortam sıcaklığının artmasıyla azalırken, gaz türbini ve AIGDK'nın ekserji yıkım değerleri artmıştır. Bu oranlar sırasıyla % 11,2, 32 ve 2,4 olarak hesaplanmıştır. Gaz türbini giriş sıcaklığında meydana gelen değişimin santralin toplam enerji ve ekserji verimindeki etkisi incelendiğinde; 1050 – 1300 °C aralığında arttırılan türbin giriş sıcaklığı sonucu ekserji verimi % 62,7 oranında, enerji verimi ise % 55,6 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen enerji ve ekserji analiz bulguları ile santraldeki bileşenler için temin edilecek ekonomik verilerin birlikte kullanılması sonucu sonraki çalışma için gerçekleştirilecek eksergoekonomik analiz, kombine çevrim santralinin hem ekserji hem de ekonomik yönden daha kapsamlı şekilde ele alınmasını sağlayacaktır. Bu sayede santral için bir taraftan enerji ve ekserji verimini arttırmaya yönelik seçenekler belirlenebilirken, eksergoekonomik analiz ile diğer yandan sadece termodinamik veya sadece ekonomik analiz sonucu meydana gelen eksikliklerin giderilmesine yönelik seçenekler kombine bir şekilde ortaya çıkacaktır.

#### Kısaltmalar

$e$	: ekserji (kJ)
$\dot{E}x$	: ekserji akışı (kW)
$h$	: entalpi (kJ/kg)
$\dot{m}$	: kütleli debi (kg/s)
$\dot{Q}$	: ısı akışı (kW)
$R$	: gaz sabiti (kJPa·m <sup>3</sup> /kg·K)
$s$	: entropi (kJ/kg·K)
$\dot{S}$	: entropi akışı (kW/K)
$T$	: sıcaklık (°C)
$T_0$	: ortam sıcaklığı (°C)
$\dot{W}$	: iş akışı (kW)
$x$	: mol fraksiyonu (-)

#### Simgeler

$\eta$	: enerji verimi (%)
$\eta_{II}$	: ekserji verimi (%)

#### Alt İndisler

$b$	: bileşen
$\dot{c}$	: çıkış
$fiz$	: fiziksel
$g$	: giriş
$i$	: bileşen sırası
$kim$	: kimyasal
$komp$	: kompresör

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Ahmed Emin KILIÇ:** Analizleri gerçekleştirip yorumlamış ve makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

**Erol ARCAKLIOĞLU:** Analizleri yorumlamış, inceleme ve düzeltme işlemi ile makalenin kontrol işlemini gerçekleştirmiştir.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ali M. S., Shafique Q. N., Kumar D., Kumar S., and Kumar S., "Energy and exergy analysis of a 747-MW combined cycle power plant Guddu". *International Journal of Ambient Energy*, 41(13): 1495-1504, (2020).
- [2] Ibrahim T. K., Mohammed M. K., Awad O. I., Abdalla A. N., Basrawi F., Mohammed M. N., and Mamat R., "A comprehensive review on the exergy analysis of combined cycle power plants". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90: 835-850, (2018).
- [3] Aliyu M., AlQudaihi A. B., Said S. A., and Habib M. A., "Energy, exergy and parametric analysis of a combined cycle power plant". *Thermal Science and Engineering Progress*, 15: 100450, (2020).
- [4] Kotowicz J., and Brzeczek M., "Analysis of increasing efficiency of modern combined cycle power plant: A case study". *Energy*, 153: 90-99, (2018).
- [5] Koç Y., and Yağlı H., "Isı-güç kombine sistemlerinde kullanılan kalina çevriminin enerji ve ekserji analizi". *Politeknik Dergisi*, 23(1): 181-188, (2020).
- [6] Karaağaç M. O., Kabul A., and Oğul H., "First-and second-law thermodynamic analyses of a combined natural gas cycle power plant: Sankey and Grossman diagrams". *Turkish Journal of Physics*, 43(1): 93-108, (2019).
- [7] Dincer I., and Rosen M. A., "Exergy: energy, environment and sustainable development". İkinci Baskı, Elsevier, İngiltere (2013).
- [8] Mohtaram S., Sun H., Lin J., Chen W., and Sun Y., "Multi-Objective Evolutionary Optimization & 4E analysis of a bulky combined cycle power plant by CO<sub>2</sub>/CO/NO<sub>x</sub> reduction and cost controlling targets". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 128: 109898, (2020).
- [9] Prakash D., and Singh O., "Thermo-economic study of combined cycle power plant with carbon capture and methanation". *Journal of Cleaner Production*, 231: 529-542, (2019).

- [10] Khan M. N., and Tlili I., "New advancement of high performance for a combined cycle power plant: thermodynamic analysis". *Case Studies in Thermal Engineering*, 12: 166-175, (2018).
- [11] Şen G., Nil M., Mamur H., Doğan H., Karamolla M., Karaçor M., and Bhuiyan M. R. A., "The effect of ambient temperature on electric power generation in natural gas combined cycle power plant-A case study". *Energy Reports*, 4: 682-690, (2018).
- [12] Abuelnuor A. A. A., Saqr K. M., Mohieldein S. A. A., Dafallah K. A., Abdullah M. M., and Nogoud Y. A. M. "Exergy analysis of Garri "2" 180 MW combined cycle power plant". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79: 960-969, (2017).
- [13] Ahmadi G. R., and Toghraie D., "Energy and exergy analysis of Montazeri steam power plant in Iran". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56: 454-463, (2016).
- [14] Sahin A. Z., Al-Sharafi A., Yilbas B. S., and Khaliq A., "Overall performance assessment of a combined cycle power plant: an exergo-economic analysis". *Energy Conversion and Management*, 116: 91-100, (2016).
- [15] Aljundi I. H., "Energy and exergy analysis of a steam power plant in Jordan". *Applied Thermal Engineering*, 29(2-3): 324-328, (2009).
- [16] Dincer I., and Al-Muslim H., "Thermodynamic analysis of reheat cycle steam power plants". *International Journal of Energy Research*, 25(8): 727-739, (2001).
- [17] Bejan A., Tsatsaronis G., and Moran M. J., "*Thermal Design and Optimization*" Birinci Baskı, John Wiley & Sons, New York, USA, (1996).
- [18] Kotas T. J., "*The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*". Birinci Baskı, Krieger, Melbourne, USA, (1985).
- [19] F-chart software, [www.fchart.com](http://www.fchart.com), Erişim tarihi: 24.03.2020