



T.C.

EGE ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü



**GÜNEŞ ENERJİSİ, ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMİ  
VE ABSORPSİYON ETKİSİ DESTEKLİ ÖZGÜN BİR  
KOJENERASYON SİSTEMİN TASARIMI,  
SİMÜLASYONU VE PERFORMANS  
DEĞERLENDİRMESİ**

**Doktora Tezi**

**Aslı TİKTAŞ**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İzmir

2024

T.C.  
EGE ÜNİVERSİTESİ  
Fen Bilimleri Enstitüsü

**GÜNEŞ ENERJİSİ, ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMİ  
VE ABSORPSİYON ETKİSİ DESTEKLİ ÖZGÜN BİR  
KOJENERASYON SİSTEMİN TASARIMI,  
SİMÜLASYONU VE PERFORMANS  
DEĞERLENDİRMESİ**

Aslı TİKTAŞ

Danışmanlar : Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN

Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Doktora Programı

İzmir

2024

Aslı TİKTAŞ tarafından doktora tezi olarak sunulan “Güneş Enerjisi, Organik Rankine Çevrimi ve Absorpsiyon Etkisi Destekli Özgün Bir Kojenerasyon Sistemin Tasarımı, Simülasyonu ve Performans Değerlendirmesi” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesinin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 14.02.2024 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri:**

**İmza**

**Jüri Başkanı : Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN**

**Raportör Üye : Doç. Dr. Lütfiye ALTAY**

**Üye : Prof. Dr. Mustafa Tolga BALTA**

**Üye : Prof. Dr. Emin AÇIKKALP**

**Üye : Dr. Öğr. Üyesi Gökhan GÜRLEK**



**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI**

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Doktora Tezi olarak sunduğum “Güneş Enerjisi, Organik Rankine Çevrimi ve Absorpsiyon Etkisi Destekli Özgün Bir Kojenerasyon Sistemin Tasarımı, Simülasyonu ve Performans Değerlendirmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

14/02/2024

Aslı TİKTAŞ



## ÖZET

# GÜNEŞ ENERJİSİ, ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMİ VE ABSORPSİYON ETKİSİ DESTEKLİ ÖZGÜN BİR KOJENERASYON SİSTEMİN TASARIMI, SİMÜLASYONU VE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

TİKTAŞ, Aslı

Doktora Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanları: Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN

Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI

Şubat 2024, 181 sayfa

Bu tezde güneş enerjisi destekli Organik Rankine çevrimi (ORÇ) ve absorpsiyon teknolojileriyle daha çevre dostu ve ekonomik bir yöntemle sırasıyla yüksek kapasiteli elektrik üretimi, yüksek kapasiteli ısıtma ve soğutma yükü ve yüksek kapasiteli elektrik ve soğutma yükü üretimleri için üç ayrı özgün sistem tasarımı geliştirilmiştir. Söz konusu bu sistem tasarımları termodinamik olarak modellenmiş ve bu sistemler üzerinde enerji, ekserji, ekonomik, çevresel etki ve sürdürülebilirlik bazlı değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Bütünleşik elektrik-soğutma sistemi için eksergoekonomik optimizasyon uygulanarak optimum sistem tasarım parametreleri seçilmiştir. Ayrıca önerilen bu sistemlerin teknoekonomik sonuçları literatürde şu ana kadar var olan benzer kapasiteli diğer sistemlerle ve referans çalışmalarla karşılaştırılarak önerilen sistemlerin diğer sistemlere göre ne ölçüde eksergoekonomik ve çevresel açılarından güçlü bir alternatif oluşturduğu belirlenmiştir. Bütünleşik elektrik ve soğutma yükü üretimi için düzlemsel güneş kolektörü, absorpsiyonlu ısı yükselticisi, absorpsiyonlu soğutma çevrimi ve ORÇ sistemlerinin entegresinin önerildiği özgün sistemde İzmir örneği için yıllık 396,2 GWh elektrik ve 59213,4 MWh soğutma yükü toplam 9,91 milyon ABD doları maliyetle, sırasıyla 0,0141 ve 0,0158 ABD Doları/kWh'lık seviyelendirilmiş soğutma yükü ve elektrik üretimi maliyetleri ve 4,27 yıllık geri ödeme süresi ile üretilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Organik Rankine çevrimi, absorpsiyon teknolojisi, güneş enerjisi, kojenerasyon sistemler, ekserji analizi, eksergoekonomik optimizasyon.





**ABSTRACT****DESIGN, SIMULATION, AND PERFORMANCE EVALUATION OF  
A NOVEL COGENERATION SYSTEM ASSISTED WITH SOLAR  
ENERGY, ORGANIC RANKINE CYCLE, AND ABSORPTION EFFECT**

TİKTAŞ, Aslı

PhD in Mechanical Eng.

Supervisors: Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN

Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI

February 2024, 181 pages

In this study, three different unique system designs were developed for high-capacity electricity production, high-capacity heating and cooling load, and high-capacity electricity and cooling load production, respectively, with a more environmentally friendly and economical method using solar energy-assisted Organic Rankine cycle (ORC) and absorption technologies. These system designs were modeled thermodynamically and energy, exergy, economic, environmental impact and sustainability-based evaluations were carried out on these systems. Optimum system design parameters were selected by applying exergoeconomic optimization for the integrated electricity-cooling system. In addition, the technoeconomic results of these proposed systems were compared with other similar capacity systems that exist in the literature and in practice to determine to what extent the proposed systems are exergoeconomically and environmentally strong compared to other systems. It has been determined that it provides an alternative. In the original system where the integration of planar solar collector, absorption heat amplifier, absorption cooling cycle and ORC systems was proposed for integrated electricity and cooling load generation, 396.2 GWh of electricity and 59213.4 MWh of cooling load per year for the Izmir example were produced at a total cost of 10.81 million USD, respectively, US0.0141/kWh and US0.0158/kWh of levelized cost of cooling load and electricity generations with a payback period of 4.27 years.

**Keywords:** Organic Rankine cycle, absorption technology, solar energy, cogeneration systems, exergy analysis, exergoeconomic optimization.



## ÖNSÖZ

Dünyada hızla artan nüfus yoğunluğu ve endüstriyel faaliyetlere paralel olarak yaşanan enerji krizi, çevre kirliliği ve artan sera gazı emisyonları her geçen gün boyutu daha da artan küresel ölçekli tehditler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu konuda izlenebilecek en etkili yolun sürdürülebilir enerji yaklaşımıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının çok üretim çıktılı sistemlere etkili atık ısı geri kazanım mekanizmalarının ve akıllı optimizasyon tekniklerinin varlığında entegre edilmesi olduğu açıktır. Dünyada hali hazırda bu bakış açısıyla güç sistemleri için Organik Rankine çevrimi (ORÇ) teknolojisi, soğutma sistemleri için ise absorpsiyonlu soğutma sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Söz konusu bu tez çalışması ile literatürdeki mevcut çalışmalardan farklı olarak absorpsiyon etkisi soğutma sisteminin yanı sıra güç üretim sisteminde ORÇ çevriminin atık ısı kaynağının sıcaklığını yükseltme yoluyla entegre edilmiştir. Böylece güç sistemindeki net iş etkileşimi artırılmış ve soğutma sistemindeki pompa işi azaltılarak güç ve soğutma sistemlerinin verim ve etkinlik değerleri daha yüksek düzeye taşınabilmektedir. Ayrıca bu çalışma ile ORÇ teknolojisi ile elektrik üretiminde ulaşılabilecek maksimum sıcaklık sınırından dolayı literatürde kullanılamayan düzlemsel güneş kolektör (DGK) sistemlerinin önerilen DGK, absorpsiyonlu ısı yükselticisi (AIY) entegresi yoluyla elektrik üretimine dahil edilebileceği gösterilmiştir. Bu tez kapsamında DGK, AIY, ORÇ ve absorpsiyonlu soğutma çevrimi (ASÇ) sistemleri entegrasyonuna dayalı olarak sırasıyla yüksek kapasiteli elektrik üretimi, ısıtma-soğutma yükü, elektrik ve soğutma yükü eldesi için literatürden farklı olarak üç farklı özgün sistem tasarımı geliştirilmiş ve bu sistemler üzerinde enerji, ekserji, çevresel etki, ekonomik ve sürdürülebilirlik temelli değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirmeler ışığında eksergoekonomik optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Bu sistem tasarımlarında tek kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemi literatürden farklı olarak kaynatıcı entegresi olmaksızın performans katsayısı değeri önerilen entegrasyonla birin üzerine çıkarılabilmektedir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmaların söz konusu bahsedilen özgünlüklerle birlikte ilgili alana katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

İZMİR

14/02/2024

Aslı TİKTAŞ



**İÇİNDEKİLER**Sayfa

|                                                           |      |
|-----------------------------------------------------------|------|
| İÇ KAPAK.....                                             | ii   |
| KABUL ONAY SAYFASI.....                                   | iii  |
| ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....                       | v    |
| ÖZET.....                                                 | vii  |
| ABSTRACT.....                                             | ix   |
| ÖNSÖZ.....                                                | xi   |
| İÇİNDEKİLER.....                                          | xiii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                      | xvii |
| TABLolar DİZİNİ.....                                      | xxi  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                       | xxv  |
| 1. GİRİŞ.....                                             | 1    |
| 1.1 Motivasyon.....                                       | 1    |
| 1.2 Tez Materyali ve Yöntemleri.....                      | 3    |
| 2. GENEL BİLGİLER.....                                    | 5    |
| 2.1 Güneş Enerjisi Potansiyeli.....                       | 5    |
| 2.1.1 Yatay Yüzey Üzerine Düşen Global Güneş Işınımı..... | 5    |

## İÇİNDEKİLER (devam)

|                                                                                                   | <u>Sayfa</u> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 2.1.2 Yatay Yüzey Üzerine Düşen Difüz Güneş Işınımı.....                                          | 7            |
| 2.1.3 Eğimli Yüzey Üzerine Düşen Toplam Yüzey Güneş Işınımı                                       | 9            |
| 2.2 Düzlemsel Güneş Kolektörü Performans Değerlendirmesi.....                                     | 11           |
| 2.2.1 Düzlemsel Güneş Kolektörü İçin Özgün Matematiksel Modelin<br>Geliştirilmesi.....            | 13           |
| 2.2.2 Düzlemsel Güneş Kolektörü İçin Eksergoekonomik Optimizasyon.....                            | 22           |
| 2.3 ORÇ Sistemleriyle İlgili Literatürde Yapılan Çalışmalar.....                                  | 27           |
| 2.3.1 Tek Üretim Çıktılı ORÇ Sistemleri.....                                                      | 27           |
| 2.3.2 Çok Üretim Çıktılı ORÇ Sistemleri.....                                                      | 33           |
| 2.4 ASÇ Sistemleri ile İlgili Literatürde Yapılan Çalışmalar.....                                 | 40           |
| 2.5 AIY Sistemleri ile İlgili Literatürde Yapılan Çalışmalar.....                                 | 43           |
| 2.6 Güneş Enerjisi Destekli Elektrik Üretimiyle İlgili Çalışmalar.....                            | 44           |
| 2.7 Enerji Sistemlerine Uygulanan Enerji ve Ekserji Analizleri ve<br>Optimizasyon Yöntemleri..... | 45           |
| 2.7.1 Enerji Analizleri.....                                                                      | 45           |
| 2.7.2 Ekserji Analizleri.....                                                                     | 46           |

## İÇİNDEKİLER (devam)

### Sayfa

|                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.7.3 Optimizasyon Yöntemleri.....                                                                                                                                     | 47  |
| 3. GELİŞTİRİLEN ÖZGÜN SİSTEM TASARIMLARI VE ANALİZLER...                                                                                                               | 54  |
| 3.1 Güneş Enerjisi Destekli Daha Ekonomik Yollu Elektrik Üretimi.....                                                                                                  | 54  |
| 3.1.1 Önerilen Sistemin Tanıtımı.....                                                                                                                                  | 54  |
| 3.1.2 Önerilen Sistemdeki Prosesin Tanıtımı.....                                                                                                                       | 57  |
| 3.1.3 Önerilen Sistemin Akış Diyagramı Simülasyonu.....                                                                                                                | 57  |
| 3.1.4 Analizler.....                                                                                                                                                   | 59  |
| 3.1.5 Bulguların Değerlendirilmesi ve Tartışma.....                                                                                                                    | 77  |
| 3.2 Güneş Enerjisi ve Absorpsiyon Teknolojisi ile Yüksek Kapasiteli Soğutma<br>ve Isıtma Yüklerinin Daha Ekonomik Yoldan Eldesi İçin Geliştirilen Özgün<br>Sistem..... | 93  |
| 3.2.1 Önerilen Sistemin Tanıtımı.....                                                                                                                                  | 93  |
| 3.2.2 Önerilen Sistemdeki Prosesin Tanıtımı.....                                                                                                                       | 96  |
| 3.2.3 Önerilen Sistemin Akış Diyagramı Simülasyonu.....                                                                                                                | 96  |
| 3.2.4 Analizler.....                                                                                                                                                   | 98  |
| 3.2.5 Bulguların Değerlendirilmesi ve Tartışma.....                                                                                                                    | 105 |

## İÇİNDEKİLER (devam)

### Sayfa

|                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3 Güneş Enerjisi, ORÇ ve Absorpsiyon Teknolojileri ile Yüksek Kapasiteli Elektrik ve Soğutma Yükünün Daha Ekonomik Yoldan Eldesi İçin Geliştirilen Özgün sistem..... | 118 |
| 3.3.1 Önerilen Sistemi Tanıtımı.....                                                                                                                                   | 118 |
| 3.3.2 Önerilen Sistemdeki Prosesin Tanıtımı.....                                                                                                                       | 122 |
| 3.3.3 Önerilen Sistemin Akış Diyagramı Simülasyonu.....                                                                                                                | 123 |
| 3.3.4 Analizler.....                                                                                                                                                   | 124 |
| 3.3.5 Bulguların Değerlendirilmesi ve Tartışma.....                                                                                                                    | 131 |
| 4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....                                                                                                                                              | 152 |
| KAYNAKLAR DİZİNİ.....                                                                                                                                                  | 158 |
| TEŞEKKÜR .....                                                                                                                                                         | 179 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                                                                                                          | 180 |
| TEZ ÇIKTILARI .....                                                                                                                                                    | 181 |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Şekil

### Sayfa

|                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1. İzmir için Meteonorm ile elde edilen aylık güneş ışıınımı süresi, günlük sıcaklık ve güneş ışıınımının değışimi.....                                                                                                                      | 6  |
| Şekil 2. Yatay yüzey üzerine düşen difüz güneş ışıınımı için ayrışırma ve TRNSYS modelleri ile Meteonorm verileri arasında maksimum bağıl hata karşılaştırması.....                                                                                | 9  |
| Şekil 3. İzmir konumunda eğim ve azimut açıları sırasıyla 30°C ve 0°C olan eğimli bir yüzeydeki toplam eğimli yüzey ışıınımı için TRNSYS modellerinin Meteonorm verileri ile maksimum bağıl hata oranı karşılaştırması.....                        | 10 |
| Şekil 4. İzmir konumunda eğim ve azimut açıları sırasıyla 30°C ve 0°C olan eğimli bir yüzeydeki toplam eğimli yüzey ışıınımı için literatür modellerinin TRNSYS Perez 1989 (Perez et al.,1990) modeli ile maksimum bağıl hata karşılaştırması..... | 11 |
| Şekil 5. DGK'nin giriş parametrelerine bağıl olarak analitik yoldan performans değerdirmesi için geliştirilen özgün matematiksel modelin genel metodolojisi.....                                                                                   | 14 |
| Şekil 6. Düzlemsel güneş kolektörleri için $\dot{m}, c_1, c_2, \eta_0$ ana etki parametrelerinin enerji verimliliğı üzerindeki etkisi.....                                                                                                         | 18 |
| Şekil 7. Düzlemsel güneş kolektörleri için $\dot{m}, c_1, c_2, \eta_0$ interaksiyonel parametrelerinin enerji verimliliğı üzerindeki etkisi.....                                                                                                   | 19 |
| Şekil 8. Düzlemsel güneş kolektörleri için $\dot{m}, c_1, c_2, \eta_0$ ana etki parametrelerinin ekserji verimliliğı üzerindeki etkisi.....                                                                                                        | 20 |
| Şekil 9. Düzlemsel güneş kolektörleri için $\dot{m}, c_1, c_2, \eta_0$ interaksiyonel parametrelerinin ekserji verimliliğı üzerindeki etkisi.....                                                                                                  | 21 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

### Şekil

### Sayfa

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 10. Optimum eğim ve azimut açılarının belirlenmesine yönelik yapılan çok amaçlı optimizasyon süreci için elde edilen Pareto öngörünümü..... | 24 |
| Şekil 11. DGK, ORÇ ve AIY sistemleri entegrasyonu yoluyla elektrik üretimi için önerilen özgün sisteme ait şematik diyagram.....                  | 56 |
| Şekil 12. Seçilen beş farklı ORÇ iş akışkanı için önerilen sistemin toplam enerji verimliliği sonuçlarının karşılaştırılması.....                 | 60 |
| Şekil 13. Seçilen beş farklı ORÇ iş akışkanı için önerilen sistemin toplam ekserji verimliliği sonuçlarının karşılaştırılması.....                | 78 |
| Şekil 14. Her bir bileşen yüzdesi üzerinden tüm sistemin ekserji yıkım akımı dağılımı.....                                                        | 79 |
| Şekil 15. Her bir bileşen için toplam ekserji yıkım akımının kaçınılabılır ve kaçınılamaz bileşen dağılımı.....                                   | 83 |
| Şekil 16. Her bir bileşen için toplam ekserji yıkım akımının içsel ve dışsal bileşen dağılımı.....                                                | 84 |
| Şekil 17. Önerilen sistemin İzmir şehri örneği için yıllık elektrik üretim simülasyonu.....                                                       | 85 |
| Şekil 18. Önerilen sistemin yatırım ve ekserji yıkım maliyet akımlarının bileşen bazında dağılımı.....                                            | 87 |
| Şekil 19. Önerilen sistem için toplam ekserji yıkım maliyet akımının her bir bileşen için dağılımı.....                                           | 89 |
| Şekil 20. Her bir bileşen için sistem üzerindeki toplam yatırım maliyet akımı bileşenlerinin dağılımı.....                                        | 90 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Şekil</u>                                                                                                                                                                        | <u>Sayfa</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 21. Yatırım maliyet akımı bileşenlerinin ilgili bileşen üzerindeki dağılımı.....                                                                                              | 90           |
| Şekil 22. AIY, DGK ve ASC sistemleri entegrasyonuna dayalı olarak yüksek kapasiteli ısıtma ve soğutma yükleri için önerilen sisteme ait şematik diyagram.....                       | 95           |
| Şekil 23. Tüm sistemin ekserji yıkım akımının sistem bileşenleri arasında yüzdesel dağılım.....                                                                                     | 108          |
| Şekil 24. Önerilen sistemin Grassmann diyagramı.....                                                                                                                                | 109          |
| Şekil 25. Önerilen sistemin genişletilmiş ekserji diyagramı.....                                                                                                                    | 111          |
| Şekil 26. Tüm yıl boyunca AIY sistemi için HEC değerinin değişimi .....                                                                                                             | 113          |
| Şekil 27. Tüm yıl boyunca ASC sistemi için COP değerinin değişimi .....                                                                                                             | 113          |
| Şekil 28. Tüm yıl boyunca tüm sistemin ekserji ürün akımının değişimi.....                                                                                                          | 114          |
| Şekil 29. Tüm yıl boyunca tüm sistemin genişletilmiş ekserji akımının değişimi.....                                                                                                 | 114          |
| Şekil 30. Tüm yıl boyunca tüm sistemin genişletilmiş ekserji verimliliğinin değişimi....                                                                                            | 115          |
| Şekil 31. Tüm yıl boyunca tüm sistemin geleneksel ekserji verimliliğinin değişimi.....                                                                                              | 115          |
| Şekil 32. DGK, ORÇ, AIY ve ASC sistemleri entegrasyonuna dayalı olarak yüksek kapasiteli soğutma yükü ve elektrik üretimi için geliştirilen özgün sisteme ait şematik diyagram..... | 121          |
| Şekil 33. Beş farklı ORÇ iş akışkanı için ORÇ sistemi enerji verimlilik değerleri karşılaştırılması.....                                                                            | 126          |
| Şekil 34. Beş farklı ORÇ iş akışkanı için tüm sistemin ekserji verimlilik değerleri karşılaştırılması.....                                                                          | 133          |

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

| <u>Şekil</u>                                                                                                                      | <u>Sayfa</u> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 35. Tüm sistemin ekserji yıkım akımının sistem bileşenleri arasındaki yüzdesel dağılımı.....                                | 134          |
| Şekil 36. Önerilen sistemin ilk konfigürasyonu için TRNSYS simülasyon sonuçları.....                                              | 135          |
| Şekil 37. Önerilen sistemin ikinci konfigürasyonu için TRNSYS simülasyon sonuçları.....                                           | 136          |
| Şekil 38. ABS1 sıcaklığının önerilen sistemin performans parametreleri üzerindeki etkisi.....                                     | 141          |
| Şekil 39. Con sıcaklığının önerilen sistemin performans parametreleri üzerindeki etkisi.....                                      | 142          |
| Şekil 40. EV2 sıcaklığının önerilen sistemin performans parametreleri üzerindeki etkisi.....                                      | 143          |
| Şekil 41. ABS2 sıcaklığının önerilen sistemin performans parametreleri üzerindeki etkisi.....                                     | 144          |
| Şekil 42. ORCT sıcaklığının önerilen sistemin performans parametreleri üzerindeki etkisi.....                                     | 145          |
| Şekil 43. COP-ORÇ sistemin enerji verimliliği ilişkisini ortaya koyan Pareto öngörünümleri.....                                   | 150          |
| Şekil 44. Tüm sistemin eksergoekonomik faktörü- ORÇ sistemin enerji verimliliği ilişkisini ortaya koyan Pareto öngörünümleri..... | 151          |
| Şekil 45. Tüm sistemin eksergoekonomik faktörü- COP ilişkisini ortaya koyan Pareto öngörünümleri.....                             | 152          |

## TABLOLAR DİZİNİ

| <u>Tablo</u>                                                                                                           | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Tablo 1. Yatay yüzey üzerine düşen difüz güneş ışıınımı tahminine yönelik ayrıştırma modellerinin literatür özeti..... | 8            |
| Tablo 2. İncelenen DGK modellerinin genel özellikleri.....                                                             | 16           |
| Tablo 3. Optimum eğim ve azimut açılarının belirlenmesi için tek amaçlı optimizasyon sonuçları.....                    | 25           |
| Tablo 4. Optimum Pareto öngörünümünden eğim ve azimut açılarının seçimi için TOPSIS sonuçları.....                     | 26           |
| Tablo 5. Önerilen sistemin akış diyagramı simülasyon sonuçları.....                                                    | 58           |
| Tablo 6. Önerilen sistem için belirlenen tasarım parametreleri ve kabul edilen varsayımlar.....                        | 58           |
| Tablo 7. Önerilen sistem için kütle ve enerji denge denklemleri.....                                                   | 59           |
| Tablo 8. Önerilen sistemin enerjistik açıdan en iyi ORÇ iş akışkanı için enerji analizi sonuçları.....                 | 61           |
| Tablo 9. Önerilen sistem için ekserji denge denklemleri.....                                                           | 62           |
| Tablo 10. Önerilen sistem için gerçek, ideal ve kaçınılmaz çalışma koşulları.....                                      | 64           |
| Tablo 11. Önerilen sistem için termoekonomik maliyet akışı denklemleri.....                                            | 67           |
| Tablo 12. Önerilen sistem için çevresel etki ve sürdürülebilirlik analizi sonuçları.....                               | 71           |
| Tablo 13. Geliştirilen özgün indislerin tanımlayıcı listesi.....                                                       | 74           |
| Tablo 14. Geliştirilen özgün önceliklendirme yönteminin genel metodolojisi.....                                        | 75           |

## TABLOLAR DİZİNİ (devam)

| <u>Tablo</u>                                                                                                                             | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Tablo 15. Referans çalışma için özgün indislerle yapılan performans değerlendirme sonuçları.(Zhou et al., 2021).....                     | 77           |
| Tablo 16. Önerilen sistem için geleneksel ekserji analizi sonuçları.....                                                                 | 78           |
| Tablo 17. Bileşen iyileştirme öncelik tablosu.....                                                                                       | 79           |
| Tablo 18. Her bir bileşen için içsel, dışsal, kaçınılabılır ve kaçınılamaz ekserji yıkım akımları.....                                   | 81           |
| Tablo 19. Her bir bileşen için içsel ve dışsal ekserji yıkım akımlarının kaçınılabılır ve kaçınılamaz bileşenleri.....                   | 81           |
| Tablo 20. Diğer sistem bileşenlerinin her bir bileşenin dışsal ekserji yıkım akımına katkıları.....                                      | 82           |
| Tablo 21. Önerilen sistemin ekonomik değerlendirme sonuçları.....                                                                        | 86           |
| Tablo 22. Önerilen sistemin geleneksel eksergoekonomik analiz sonuçları.....                                                             | 87           |
| Tablo 23. Önerilen sistemin her bir bileşeninin yatırım maliyet akımının ileri eksergoekonomik analiz temelindeki bileşenleri.....       | 88           |
| Tablo 24. Önerilen sistemin her bir bileşeninin ekserji yıkım maliyet akımının ileri eksergoekonomik analiz temelindeki bileşenleri..... | 89           |
| Tablo 25. Önerilen sistem için çevresel etki analizi sonuçları.....                                                                      | 91           |
| Tablo 26. Önerilen sistem için sürdürülebilirlik analizi sonuçları.....                                                                  | 91           |
| Tablo 27. Önerilen sistemin geleneksel performans parametre sonuçları.....                                                               | 92           |
| Tablo 28. Önerilen sistemin geliştirilen özgün indisler temelinde performans parametre sonuçları.....                                    | 93           |
| Tablo 29. Önerilen sistem için belirlenen tasarım parametreleri ve kabul edilen varsayımlar.....                                         | 97           |

## TABLOLAR DİZİNİ (devam)

| <u>Tablo</u>                                                                                                | <u>Sayfa</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Tablo 30. Önerilen sistem için akış diyagramı simülasyon sonuçları.....                                     | 98           |
| Tablo 31. Önerilen sistem için kütle ve enerji denge denklemleri.....                                       | 99           |
| Tablo 32. Önerilen sistem için ekserji denge denklemleri.....                                               | 101          |
| Tablo 33. Önerilen sistemin genişletilmiş ekserji analizinde kullanılan veriler.....                        | 102          |
| Tablo 34. Önerilen sistemin kümülatif ekserji tüketimi analizine ilişkin enerji taşıyıcıları tanımları..... | 103          |
| Tablo 35. Önerilen sistemin enerji analizi sonuçları.....                                                   | 105          |
| Tablo 36. Önerilen sistemin geleneksel ekserji analizi sonuçları.....                                       | 107          |
| Tablo 37. Önerilen sistemin genişletilmiş ekserji analizi sonuçları.....                                    | 110          |
| Tablo 38. Önerilen sistemin ekonomik değerlendirme sonuçları.....                                           | 117          |
| Tablo 39. Önerilen sistemin çevresel etki analizi sonuçları.....                                            | 117          |
| Tablo 40. Önerilen sistemin sürdürülebilirlik analizi sonuçları.....                                        | 118          |
| Tablo 41. Önerilen sistem için belirlenen tasarım parametreleri ve kabul edilen varsayımlar.....            | 123          |
| Tablo 42. Önerilen sistem için akış diyagramı simülasyon sonuçları.....                                     | 124          |
| Tablo 43. Önerilen sistem için kütle ve enerji denge denklemleri.....                                       | 125          |

## TABLOLAR DİZİNİ (devam)

| <u>Tablo</u>                                                                                                                                   | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Tablo 44. Önerilen sistemin enerjistik açıdan optimum ORÇ iş akışkanı için enerji analizi sonuçları.....                                       | 126          |
| Tablo 45. Önerilen sistem için ekserji denge denklemleri.....                                                                                  | 128          |
| Tablo 46. Önerilen sistemin optimal ORÇ iş akışkanı için geleneksel ekserji analizi sonuçları.....                                             | 133          |
| Tablo 47. Önerilen sistemin seçilen ilk konfigürasyonu için ekonomik değerlendirme sonuçları.....                                              | 138          |
| Tablo 48. Önerilen sistemin seçilen ikinci konfigürasyonu için ekonomik değerlendirme sonuçları.....                                           | 138          |
| Tablo 49. Önerilen sistemin ikinci konfigürasyonunun ömür çevrimi maliyeti için Monte Carlo simülasyon sonuçları.....                          | 139          |
| Tablo 50. Önerilen sistemin sürdürülebilirlikle ilişkili seçilen sistem performans parametre sonuçları.....                                    | 146          |
| Tablo 51. Referans çalışmanın (Chong et al.,2022) sürdürülebilirlikle ilişkili güneş enerjisi için sunduğu performans parametre sonuçları..... | 146          |
| Tablo 52. Önerilen sistemin tek amaçlı eksergoekonomik optimizasyon sonuçları.....                                                             | 148          |
| Tablo 53. Önerilen sistemin çok amaçlı eksergoekonomik optimizasyon sonuçları.....                                                             | 149          |



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| <u>Simgeler</u>             | <u>Açıklama</u>                                            |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------|
| <i>adp. GWP</i>             | Atmosferik bozulma ile maddenin küresel ısınma potansiyeli |
| <i>AEC</i>                  | Yıllık enerji tüketimi (kWh/yıl)                           |
| <i>ALR</i>                  | Yıllık sızıntı oranı (kg/yıl)                              |
| <i>b</i>                    | Mol başına kimyasal ekserji değeri (kW/mol)                |
| <i>c</i>                    | Ekserji akımıyla ilişkili maliyet (ABD Doları/kWh)         |
| <i>C</i>                    | Emisyona neden olan maddesel yük (kg)                      |
| <i><math>\dot{C}</math></i> | Seviyelendirilmiş maliyet oranı (ABD Doları/h)             |
| <i>CC</i>                   | Sermaye maliyeti (ABD Doları)                              |
| <i>CECPI</i>                | Kimyasal ekonomik tesis maliyet indeksi                    |
| <i>CRF</i>                  | Sermaye geri kazanım faktörü                               |
| <i>E</i>                    | Eşdeğer ekserji (kJ)                                       |
| <i><math>\dot{E}</math></i> | Ekserji akımı (kW)                                         |
| <i>ee</i>                   | Spesifik eşdeğer ekserji (GJ/gün)                          |
| <i>EE</i>                   | Genişletilmiş ekserji (kJ)                                 |
| <i>EEF</i>                  | Çevresel etki faktörü                                      |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

| <u>Simgeler</u> | <u>Açıklama</u>                                                  |
|-----------------|------------------------------------------------------------------|
| $EF$            | Emisyon faktörü                                                  |
| $EcoEF$         | Ekolojik etki faktörü                                            |
| $Em$            | $CO_2$ emisyonu (kg)                                             |
| $EOL$           | Malzeme ömrü (yıl)                                               |
| $Ex$            | Gerekli ekserji tüketimi (MJ/kişi.gün)                           |
| $ex^*$          | Kümülatif ekserji tüketimi için indislerin vektörü               |
| $ExSI$          | Ekserjitik sürdürülebilirlik indeksi                             |
| $ExWR$          | Ekserjitik yakıt atık oranı                                      |
| $f$             | Eksergoekonomik faktör                                           |
| $f_1$           | Modern yaşam standardına ilişkin tüketim düzeltme faktörü        |
| $F$             | Yan ürünler için ekserji tüketim katsayısı matrisi               |
| $GWP$           | Küresel ısınma potansiyeli                                       |
| $h$             | Özgül entalpi (kJ/kg)                                            |
| $L$             | Ömür süresi (yıl)                                                |
| $\dot{m}$       | Kütleli debi (kg/s)                                              |
| $MM$            | 1 kg malzeme üretimine eşdeğer $CO_2$ emisyonu                   |
| $mr$            | Geri dönüştürülen malzeme kütlesi (kg)                           |
| $N$             | Toplam bileşen sayısı                                            |
| $\dot{Q}$       | Isı transfer akımı (kW)                                          |
| $RDF$           | Madde imha emisyonları (kg)                                      |
| $RM$            | 1 kg geri dönüştürülen malzemeye ilişkin eşdeğer $CO_2$ emisyonu |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

| <u>Simgeler</u>     | <u>Açıklama</u>                                                    |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------|
| $RMF$               | Malzeme üretim emisyonları (kg)                                    |
| $s$                 | Özgül entropi (kJ/kg.K)                                            |
| $S$                 | Kapasite                                                           |
| $S1$                | Ücret ve maaşların ulusal parasal miktarı (Euro/yıl)               |
| $SEF$               | Sosyo-ekolojik faktör                                              |
| $T$                 | Sıcaklık (°C veya K )                                              |
| $t$                 | Süre(s)                                                            |
| $x$                 | LiBr konsantrasyonu (%)                                            |
| $z$                 | Mol kesri                                                          |
| $\dot{Z}$           | Maliyet akımı(ABD Doları/h)                                        |
| <u>Alt Simgeler</u> | <u>Açıklama</u>                                                    |
| $0$                 | Ölü hal                                                            |
| $A$                 | Enerji taşıyıcılarının ve malzemelerin ekserji tüketim katsayıları |
| $CEXC$              | Kümülatif ekserji tüketimi                                         |
| $d$                 | Yıkım                                                              |
| $D$                 | Dış kaynaklar                                                      |
| $DD$                | Ana üretime katılmayan yan ürünler                                 |
| $F$                 | Ana üretime katılmayan dış kaynaklar                               |
| $G$                 | Ana ürünler                                                        |
| $h$                 | İnsan                                                              |
| $i$                 | İlgili akım                                                        |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

| <u>Alt Simgeler</u> | <u>Açıklama</u>               |
|---------------------|-------------------------------|
| <i>E</i>            | Çevresel iyileştirme maliyeti |
| <i>eq.mfg</i>       | Bileşen imalatı               |
| <i>re.mfg</i>       | Madde üretim emisyonları      |
| <i>eq.rcy</i>       | Bileşen geri dönüşümü         |
| <i>ex</i>           | Ekserjitik                    |
| <i>F</i>            | Yakıt                         |
| <i>k</i>            | Bileşen                       |
| <i>L</i>            | İş gücü                       |
| <i>m</i>            | Malzeme                       |
| <i>mexo</i>         | Birleşik                      |
| <i>P</i>            | Ürün                          |
| <i>r</i>            | Katkı sağlayan bileşen        |
| <i>surv</i>         | İnsanın hayatta kalması       |
| <i>T</i>            | Toplam                        |
| <i>wh</i>           | Çalışma saati                 |

| <u>Üst Simgeler</u> | <u>Açıklama</u> |
|---------------------|-----------------|
| <i>AV</i>           | Kaçınılabilir   |
| <i>Ch</i>           | Kimyasal        |
| <i>EN</i>           | İçsel           |
| <i>EX</i>           | Dışsal          |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

### Üst Simgeler

### Açıklama

$Ph$

Fiziksel

$UN$

Kaçınılamaz

.

Akım (Birim zamandaki miktar)

### Yunan Harfleri

### Açıklama

$\phi_k$

Bakım faktörü

$\eta$

Verim

### Kısaltmalar

### Açıklama

ABSCon

Absorpsiyonlu ısı yükselticisi yoğuşturucusu

AIY

Absorpsiyonlu ısı yükselticisi

ASÇ

Absorpsiyonlu soğutma çevrimi

Con

Yoğuşturucu

DGK

Düzlemsel güneş kolektörü

EV

Buharlaştırıcı

Gen

Kaynatıcı

ORCCon

Organik Rankine çevrimi yoğuşturucusu

ORCT

Organik Rankine çevrimi türbini

ORÇ

Organik Rankine çevrimi

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

| <u>Kısaltmalar</u> | <u>Açıklama</u>           |
|--------------------|---------------------------|
| P                  | Pompa                     |
| PV-T               | Fotovoltaik-ısıl          |
| SHX                | Çözelti ısı değıştiricisi |
| V                  | Genişleme valfi           |



## 1. GİRİŞ

### 1.1 Motivasyon

Günümüz dünyasında hızla artan nüfus yoğunluğuna ve endüstriyel faaliyetlere paralel olarak yaşanan enerji krizleri, çevre kirliliği ve artan sera gazı emisyonları küresel ölçekte dünyamız ve onu besleyen tüm sektörler için her geçen gün boyutu daha da artan bir tehdit haline gelmektedir. Bu durumun yakın zamandaki en güncel ve çarpıcı örneği ise tüm bireyleri, toplumları ve sektörleri derinden etkilemiş Coronavirüs pandemisi tehlikesidir. İlk bakışta bu tehlike sadece bir sağlık problemi olarak görülmüşse de üretim ve ekonomi üzerindeki temel etkileri enerji sektörünü de derinden etkilemiştir. Bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için enerji sektöründe bilim ve teknolojinin desteğiyle güçlü ve yeni politikaların geliştirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda, Covid-19 coronavirüs tehlikesinin enerji sektöründe karbon çağını kapatıp hidrojen çağını başlattığı Dinçer (Dinçer, 2020) tarafından ifade edilmiştir. Bu küresel ölçekli problemin çözümlenmeye çalışıldığı dönemden şu ana kadar kalıcı bir çözüm bulunamamış ve bu durum 2000 yılından beri benimsenen önemli bir kavramın pratik uygulamalar ve çözümlerle daha güçlü bir şekilde vurgulanması konusunda karşımıza önemli bir uyarı olarak ortaya çıkmıştır. Bu kavram üretimin yanında maliyet, kalite, termin, yönetim ve çevre bilinci de gereklidir anlayışıdır. Bu uyarı doğrultusunda hareket edilerek sürdürülebilir enerji, enerji güvenliği ve enerji verimliliği sağlanabilir. Burada fosil kaynaklarla enerji güvenliğinin ve sürdürülebilir enerjinin sağlanamayacağı açıktır. Çünkü endüstride fosil kaynakların yoğun kullanımı artan hava kirliliğini ve sera gazı emisyonlarını tetiklemektedir. Öte yandan bu kaynakların kısa sürede azalacağı da bir gerçektir. Bu nedenle, bu kaynaklar yerine kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Ancak buradaki sorun, bu kaynaklarla uzun vadeli enerji güvenliğinin nasıl sağlanacağıdır. Bu durum, enerji yönetimi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımına yönelik çalışmaların önemine dikkat çekmiştir. Bu girişimlerle ekonomik ilerleme, çevre koruması ve uzun vadeli enerji güvenliği eş zamanlı olarak sağlanabilmektedir. Dolayısıyla bu konulara dayalı çalışmalar literatürde önemli bir yer tutmaya devam etmektedir. Literatürde

yenilenebilir enerjiye dayalı birçok kullanılabilir sistem bulunmaktadır. Ancak bunlar arasında Organik Rankine çevrimi (ORÇ) sistemleri basit altyapı ve kurulum, düşük sermaye maliyeti, esnek yapı, enerji kaynağına kolay entegrasyon gibi özelliklerinden dolayı sürdürülebilir enerji kavramını sağlama açısından güçlü bir potansiyel olarak karşımıza çıkmaktadır (Hou et al.,2017; Lecompte et al.,2017). Ayrıca özellikle düşük veya orta seviyedeki ısı kaynaklarından güç/elektrik üretiminde bu sistemlerin temel etkileri kolaylıkla görülebilmektedir. Söz konusu bu sistemler, atık ısı geri kazanım potansiyellerinin ve fırsatlarının sistem içerisinde daha verimli olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bu duruma paralel olarak sistem performans parametrelerinin ve çıktılarının yüksek olması ORÇ sistemlerini diğerleri arasında ön plana çıkarmaktadır. Esasen, ORÇ sistemleri buharlı Rankine çevrimi (BRÇ) sistemleri ile benzer prensipte çalışır. Ancak aralarında önemli bir ayrım vardır.

ORÇ sistemlerinde organik iş akışkanının kullanılması nedeniyle daha düşük sıcaklıktaki enerji girdisi kullanılır. Dolayısıyla BRÇ sistemlerinde atık ısı geri kazanım potansiyeli ve verimliliği ORÇ sistemlerine göre daha düşük seviyede kalmaktadır. Ancak bu durum literatürdeki çalışmaları bu farkı kapatmak için farklı sistem tasarımları oluşturmaya itmektedir. Bu noktada multijenerasyon sistemleri BRÇ sistemlerinin yanı sıra ORÇ sistemleri için de sistemlerin performansında ciddi bir iyileşme sağlayan önemli bir sistem tasarımı olarak karşımıza çıkmaktadır. ORÇ sistemlerinde son derece güçlü çıktılar üretilir ve atık ısı geri kazanım potansiyelleri güçlü bir şekilde işlenebilir. Dolayısıyla multijenerasyon sistemleri tek nesil sistemlere göre daha verimli ve çevreye duyarlı olduğu için literatürde avantajlı bu iki sistemin kombinasyonuna dayalı çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Multijenerasyon sistemlerinin söz konusu avantajları sistem içerisindeki kayıpların azalma oranına bağlı olarak gerçekleşir. Bu durum atık ısı geri kazanım proseslerinin varlığındaki etkileşim yoluyla birden fazla çıktının üretilmesinden kaynaklanmaktadır (Li et al.,2021; Bamisile et al.,2021). Fakat multijenerasyon sistemler birbiriyle çok yönlü karşılaştırıldığında kojenerasyon sistemlerinin eksergoekonomik ve çevresel açılarından daha optimum bir çözüm oluşturduğu kapsamlı bir literatür değerlendirmesi sonucunda rahatlıkla görülmüştür (Tiktas et al.,2022). Literatürde geliştirilen elektrik üretimi ve soğutmanın birlikte sağlanabileceği kojenerasyon sistem tasarımlarında, absorpsiyon etkisi sadece soğutma sistemlerine entegre edilmiştir.



Bu tez kapsamında, önerilen özgün sistemde absorpsiyon etkisi soğutma sisteminin yanı sıra ORÇ sisteminde ısı kaynağının sıcaklığını yükseltmede absorpsiyonlu ısı yükselticisi takviyesinin kullanımıyla entegre edilmiş ve söz konusu güç sisteminde genişleme işlerinden yararlanılarak güneş kolektör alanını azaltmak ve sistemden elde edilecek net iş çıktısını artırarak bu işi kompresöre aktarma yoluyla kompresöre verilmesi gereken gücü azaltmak ve absorpsiyonlu buhar sıkıştırılmalı soğutma çevriminin etkinliğini artırmak, birleştirilmiş organik Rankine-buhar sıkıştırılmalı soğutma çevriminde her bir çevrimi literatürdekilerle karşılaştırarak bu çalışmada önerilecek sistemin farklılıklarını ortaya koymak hedeflenmiştir.

## 1.2 Tez Materyali ve Yöntemleri

Tez materyalini ORÇ kaynaklı elektrik üretimi ve absorpsiyonlu soğutmanın birlikte sağlanabileceği kojenerasyon sistem tasarımlarını içeren literatürdeki ulusal ve uluslararası yayınların (Al-Suleiman et al., 2011; Liang et al., 2014; Khalid et al., 2015; Karellas and Braimakis, 2016; Ahmadi et al., 2018; Ji, 2018; Sadaghiani et al., 2018; Hashemian and Noorpoor, 2019; Salim and Kim, 2019; Liu et al., 2020; Song et al., 2020; Yağlı et al., 2021 ) yanı sıra absorpsiyon teknolojisinin (Nikbakhti et al., 2020) ve yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sistemlerine entegre edildiği literatür çalışmaları (Mahidin et al., 2021) ve enerjitik ve ekserjitik analiz yöntemleri (Kelly, 2008; Yang et al., 2013; Soundararajan et al., 2014; Song et al., 2019; Moradi et al., 2020) oluşturmaktadır. Araştırma yöntemi olarak tezin içerdiği kapsamdaki konularla ilgili son literatürler karşılaştırmalı olarak incelenerek veri doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Yöntem olarak ise söz konusu kojenerasyon sistem tasarımı ile ilgili son literatürler incelenerek literatürde mevcut olan ORÇ ile elektrik, absorpsiyon teknolojisi ile soğutma yükü ve bütünleşik elektrik-soğutma yükü üretimi sistemlerine eksegoekonomik ve çevresel açılardan güçlü alternatif oluşturulabilecek özgün üç farklı sistem tasarımı geliştirilmiştir. Bu sistemlerin simüle edileceği bölge olan İzmir için güneş enerjisi potansiyeli belirlenerek sistemdeki güneş kolektörünün ekserji ve sürdürülebilirlik temelli optimizasyonunu gerçekleştirmek için yeni bir matematiksel model geliştirilmiştir. Söz konusu üç sistem tasarımında yer alan absorpsiyonlu ısı yükselticisi ve absorpsiyonlu soğutma sistemi bileşenleri termodinamik olarak Engineering Equation Solver (EES)

programıyla modellenmiş ve tüm bileşenleriyle bu önerilen sistemler Transient System Simulation Software (TRNSYS) programında modellenerek ilgili analizler gerçekleştirilmiştir.

Güneş enerjisi desteğiyle düzlemsel güneş kolektörü (DGK), absorpsiyonlu ısı yükselticisi (AIY) ve ORÇ entegrasyonuna dayalı olarak daha ekonomik bir yolla güçlü elektrik üretimini amaçlayan ilk sistem tasarımı için enerji, ileri ekserji, eksergoekonomik, çevresel ve sürdürülebilirlik analizleri yapılmıştır. Bu sistem tasarımında sistemin termodinamik olarak iyileştirilmesi için sistem ekipmanları için geleneksel ve ileri ekserji analizi sonuçlarına dayalı olarak literatüre özgün bir önceliklendirme yöntemi sunulmuştur. Bu özgün yöntem aynı zamanda literatürde mevcut olan sistem performans parametrelerinin dışında literatüre sunulan özgün bir indeks olan ekipman iyileştirme potansiyelini de içermektedir. İkinci sistem tasarımında, DGK, AIY ve absorpsiyonlu soğutma çevrimi (ASÇ) sistemlerinin entegrasyonu yoluyla düşük sıcaklık seviyesindeki atık ısı kaynaklarıyla (70°C – 90°C) yüksek kapasiteli ısıtma ve soğutma yüklerinin (4000 kW) üretimi için literatürdeki mevcut tek kademeli ASÇ sistemlerinin ekonomik uygulanabilirliğinin ve Soğutma Performans Katsayısı (COP) değerlerinin artırılması amaçlanmış ve sistem üzerinde enerji, genişletilmiş ekserji, sürdürülebilirlik ve çevresel analizler gerçekleştirilmiştir. Üçüncü sistem tasarımında ise DGK/hibrid PV-T, ORÇ, AIY ve tek kademeli ASÇ sistemleri entegresiyle yüksek kapasiteli soğutma yükü (4000 kW) ve elektrik (1000 kW) üretimi çıktılarının daha düşük seviyeli atık ısı sıcaklık kaynakları aracılığıyla daha ekonomik bir yolla ve yüksek COP değerleriyle elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu sistem tasarımı DGK ve PV-T olmak üzere iki ayrı konfigürasyon için incelenmiş, sonuçlar teknoekonomik açıdan karşılaştırılarak uygun konfigürasyon seçimi yapılmıştır. Seçilen bu konfigürasyon için farklı eksergoekonomik parametrelere dayalı olarak tek ve çok amaç fonksiyonlu teknoekonomik optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Bu tez kapsamında geliştirilen tüm sistem tasarımları literatürde var olan mevcut güç ve/veya soğutma tesislerinin teknoekonomik parametreleriyle karşılaştırılarak geliştirilen sistemlerin alternatif oluşma potansiyelleri belirlenmiştir.

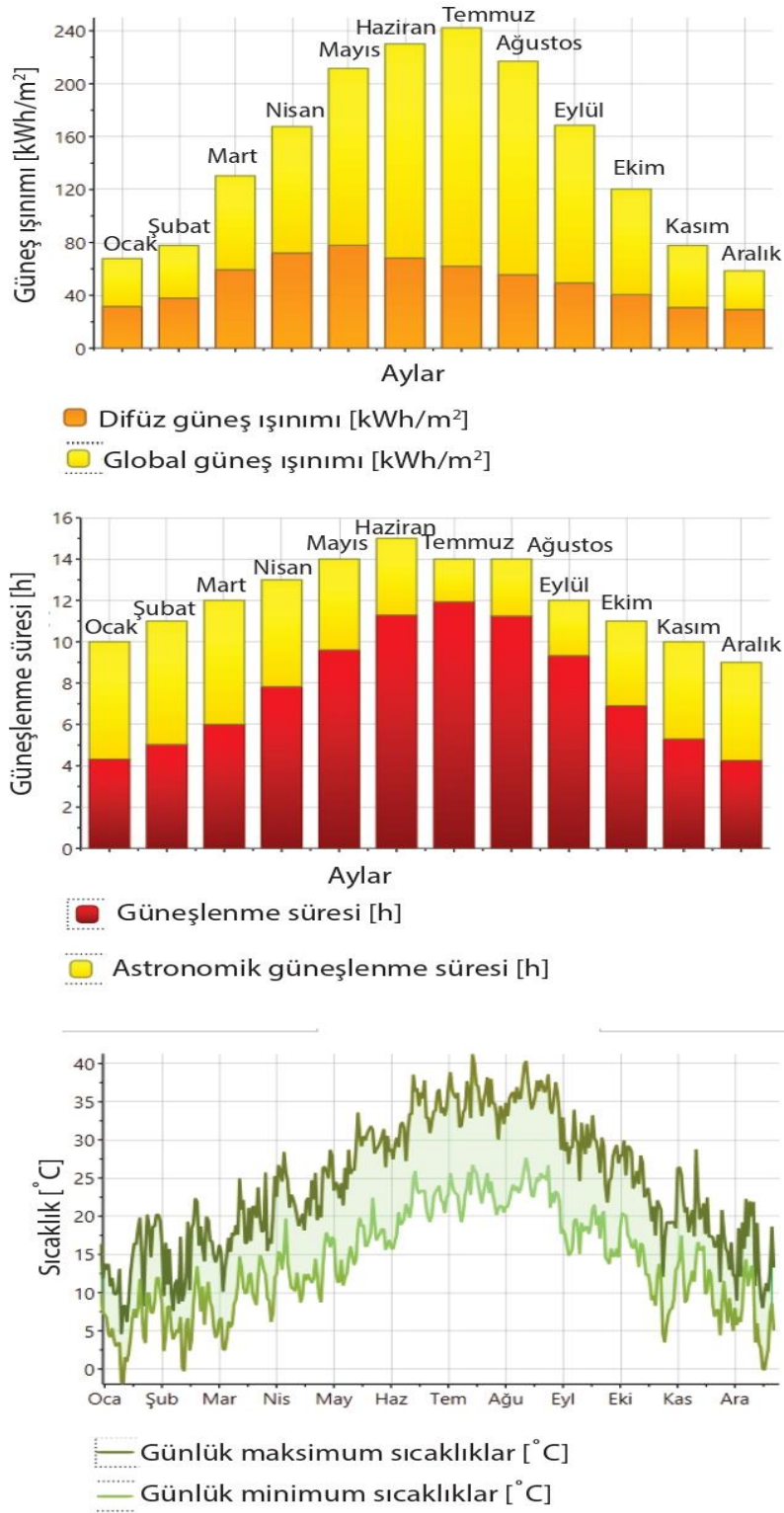
## 2. GENEL BİLGİLER

Güneş enerjisi potansiyeli, ORÇ, AIY, ASÇ sistemleriyle ilişkili yapılan genel çalışmalar bu bölümde sırasıyla özetlenmiştir.

### 2.1 Güneş Enerjisi Potansiyeli

#### 2.1.1 Yatay Yüzey Üzerine Düşen Global Güneş Işınımı

Bu tez çalışması kapsamında güneş enerjisi potansiyelinin belirlenmesi için İzmir şehri seçilmiştir. Güneş enerjisi potansiyelinin gelecekteki daha uzun zaman dilimleri için tahmin edilmesi zor olduğundan bunu belirlemek için geçmiş yılların meteorolojik verileri kullanılmıştır. Bu kapsamda, TRNSYS içinde farklı şehirler için mevcut olan Meteonorm formatındaki saatlik meteorolojik veriler kullanılmıştır. Verilerin karşılaştırılması için ise Meteonorm yazılımından (Meteonorm, 2022) ve Güneş Enerjisi Potansiyel Atlasından (GEPA, 2022) faydalanılmıştır. Meteonorm ile İzmir için elde edilen güneş ışıınımı süresi, günlük sıcaklık ve güneş ışıınımının aylık değişimleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Karşılaştırma sonuçları ise TRNSYS ile Meteonorm ve GEPA verileri arasındaki maksimum farkın sırasıyla %16,9 ve %24,79 olduğunu göstermiştir. Bu maksimum fark seviyesi, TRNSYS meteorolojik verilerinin güneş enerjisi sisteminin performansını tahmin etmek için kullanılabileceğini göstermiştir.



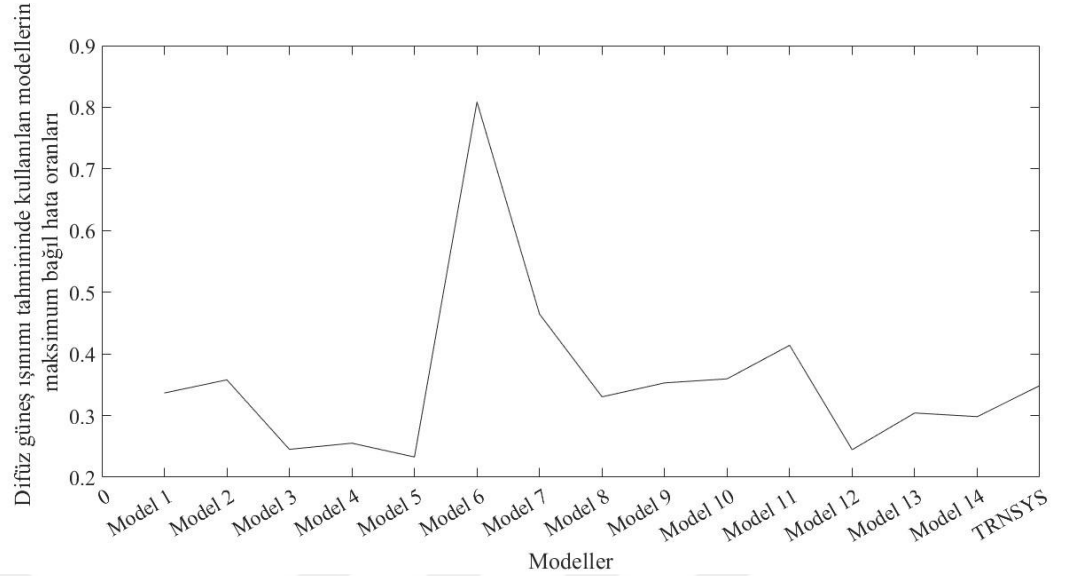
Şekil 1. İzmir için Meteonorm ile elde edilen aylık güneş ışınlamı süresi, günlük sıcaklık ve güneş ışınlamının değişimi.

### 2.1.2 Yatay Yüzey Üzerine Düşen Difüz Güneş Işınımı

Yatay yüzey üzerine düşen difüz güneş ışınlamı tahmini için literatürde yer alan ayrıştırma modelleri Tablo 1'de sunulmuştur. Bu modeller, yatay bir yüzey üzerine düşen global güneş ışınlamı üzerinden difüz güneş ışınlamını berraklık indeksi ile ilişkilendirerek tahmin eder. Berraklık indeksi, izole bir konumdaki atmosferik etkilerin bir ölçüsüdür. Bu indeks, coğrafi konum, iklim koşulları, mevsim ve yıl gibi birçok parametreye bağlı olarak değişir. Bu ışınlam parametresi için ayrıştırma ve TRNSYS modelleri ile Meteonorm verileri arasındaki maksimum bağıl hata oranı karşılaştırması Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'ye göre ayrıştırma modelleri arasında Lam and Li (1996) ile Orgill and Hollands (1977) modelleri, yatay difüz güneş ışınlamı tahmini için sırasıyla 0,809 ve 0,245'lik bağıl hata oranları ile en iyi ve en kötü modeller olarak belirlenmiştir. Bu ışınlam tahmininde TRNSYS modelinin bağıl hata oranı 0,349 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. Yatay yüzey üzerine düşen difüz güneş ışınlamı tahminine yönelik ayrıştırma modellerinin literatür özeti.

| Model Adı                                                                                                                | Referans                                | Korelasyon                                                                                                                                                                                               | Sınırlar                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chandrasekaran ve Kumar                                                                                                  | (Chandrasekaran and Kumar 1994)         | $\bar{H}_D = (1,0086 - 0,178\bar{K}_T)$<br>$\bar{H}_D = (0,9686 + 0,1325\bar{K}_T + 1,4183\bar{K}_T^2 - 10,1862\bar{K}_T^3 + 8,3733\bar{K}_T^4)\bar{H}$<br>$\bar{H}_D = (1,0086 - 0,78\bar{K}_T)\bar{H}$ | $0 < \bar{K}_T \leq 0,24$<br>$0,24 < \bar{K}_T \leq 0,8$<br>$0,8 < \bar{K}_T \leq 1$       |
| Erb                                                                                                                      | (Erbs, Klein, and Duffie 1982)          | $\bar{H}_D = (1 - 0,09\bar{K}_T)\bar{H}$<br>$\bar{H}_D = (0,9511 - 0,1604\bar{K}_T + 4,388\bar{K}_T^2 - 16,638\bar{K}_T^3 + 12,336\bar{K}_T^4)\bar{H}$<br>$\bar{H}_D = 0,165 \bar{H}$                    | $0 < \bar{K}_T \leq 0,22$<br>$0,22 < \bar{K}_T \leq 0,8$<br>$0,8 < \bar{K}_T \leq 1$       |
| Hawladar                                                                                                                 | (Hawladar 1984)                         | $\bar{H}_D = (0,915\bar{K}_T)\bar{H}$<br>$\bar{H}_D = (1,135 - 0,9422\bar{K}_T - 0,3878\bar{K}_T^2)\bar{H}$<br>$\bar{H}_D = 0,215 \bar{H}$                                                               | $0 < \bar{K}_T \leq 0,225$<br>$0,225 < \bar{K}_T \leq 0,775$<br>$0,775 < \bar{K}_T \leq 1$ |
| Jacovide                                                                                                                 | (Jacovides et al. 2006)                 | $\bar{H}_D = 0,987\bar{H}$<br>$\bar{H}_D = (0,94 + 0,937\bar{K}_T - 5,01\bar{K}_T^2 + 3,32\bar{K}_T^3)\bar{H}$<br>$\bar{H}_D = 0,177 \bar{H}$                                                            | $0 < \bar{K}_T \leq 0,1$<br>$0,1 < \bar{K}_T \leq 0,8$<br>$0,8 < \bar{K}_T \leq 1$         |
| Karatasou                                                                                                                | (Karatasou, Santamouri, and Geros 2003) | $\bar{H}_D = (0,9995 - 0,05\bar{K}_T - 2,4156\bar{K}_T^2 + 1,926\bar{K}_T^3)\bar{H}$<br>$\bar{H}_D = 0,2 \bar{H}$                                                                                        | $0 < \bar{K}_T \leq 0,78$<br>$0,78 < \bar{K}_T \leq 1$                                     |
| Lam ve Li                                                                                                                | (Lam and Li 1996)                       | $\bar{H}_D = 0,977\bar{H}$<br>$\bar{H}_D = (1,237 - 1,361\bar{K}_T)\bar{H}$<br>$\bar{H}_D = 0,273 \bar{H}$                                                                                               | $0 < \bar{K}_T \leq 0,15$<br>$0,15 < \bar{K}_T \leq 0,17$<br>$0,17 < \bar{K}_T \leq 1$     |
| Louche                                                                                                                   | (Louche et al. 1991)                    | $\bar{H}_b = (0,02 - 0,059\bar{K}_T + 0,99\bar{K}_T^2 - 5,205\bar{K}_T^3 + 15,307\bar{K}_T^4 - 10,676\bar{K}_T^5)\bar{H}$<br>$\bar{H}_D = \bar{H} - \bar{H}_b$                                           | $0 < \bar{K}_T \leq 1$<br>$0 < \bar{K}_T \leq 1$                                           |
| Miguel                                                                                                                   | (De Miguel et al. 2001)                 | $\bar{H}_D = (0,995 - 0,081\bar{K}_T)\bar{H}$<br>$\bar{H}_D = (0,724 + 2,738\bar{K}_T - 8,32\bar{K}_T^2 + 4,967\bar{K}_T^3)\bar{H}$<br>$\bar{H}_D = 0,18 \bar{H}$                                        | $0 < \bar{K}_T \leq 0,21$<br>$0,21 < \bar{K}_T \leq 0,76$<br>$0,76 < \bar{K}_T \leq 1$     |
| Boland                                                                                                                   | (Boland, Scott, and Luther 2001)        | $\bar{H}_D = \left(\frac{1}{1+e^{7,997(\bar{K}_T-0,586)}}\right)\bar{H}$                                                                                                                                 | $\bar{K}_T$ 'nin herhangi bir değeri için                                                  |
| Spencer                                                                                                                  | (Spencer 1982)                          | $\bar{H}_D = (a_3 - b_3\bar{K}_T)\bar{H}$<br>$a_3 = 0,94 + 0,0118 \phi $<br>$b_3 = 1,185 + 0,0135 \phi $                                                                                                 | $0,35 < \bar{K}_T \leq 0,75$                                                               |
| Oliveria                                                                                                                 | (Oliveira et al. 2002)                  | $\bar{H}_D = \bar{H}$<br>$\bar{H}_D = (0,97 + 0,8\bar{K}_T - 3\bar{K}_T^2 - 3,1\bar{K}_T^3 + 5,2\bar{K}_T^4)\bar{H}$<br>$\bar{H}_D = 0,17 \bar{H}$                                                       | $0 < \bar{K}_T \leq 0,17$<br>$0,17 < \bar{K}_T \leq 0,75$<br>$0,75 < \bar{K}_T \leq 1$     |
| Soare                                                                                                                    | (Soares et al. 2004)                    | $\bar{H}_D = \bar{H}$<br>$\bar{H}_D = (0,9 + 1,1\bar{K}_T - 4,5\bar{K}_T^2 - 0,01\bar{K}_T^3 + 3,14\bar{K}_T^4)\bar{H}$<br>$\bar{H}_D = 0,17 \bar{H}$                                                    | $0 < \bar{K}_T \leq 0,17$<br>$0,17 < \bar{K}_T \leq 0,75$<br>$0,75 < \bar{K}_T \leq 1$     |
| Muneer                                                                                                                   | (Muneer 2004)                           | $\bar{H}_D = 0,95\bar{H}$<br>$\bar{H}_D = (0,9698 + 0,4353\bar{K}_T - 3,4499\bar{K}_T^2 + 2,1888\bar{K}_T^3)\bar{H}$<br>$\bar{H}_D = 0,26 \bar{H}$                                                       | $0 < \bar{K}_T \leq 0,175$<br>$0,175 < \bar{K}_T \leq 0,755$<br>$0,775 < \bar{K}_T \leq 1$ |
| $\bar{K}_T, \bar{H}_D, \bar{H}$ , ve $\bar{H}_b$ sırasıyla berraklık indeksi, difüz, global ve direkt güneş ışınlamıdır. |                                         |                                                                                                                                                                                                          |                                                                                            |



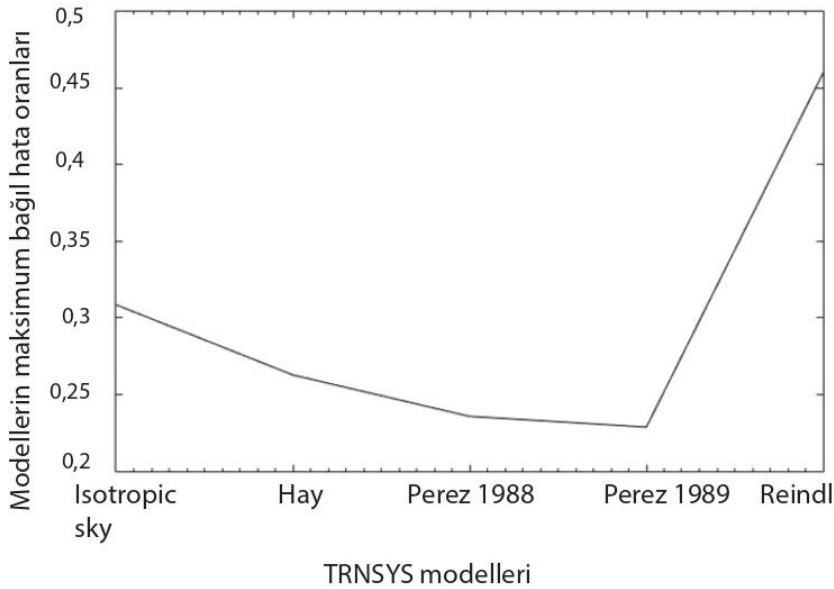
Şekil 2. Yatay yüzey üzerine düşen difüz güneş ışımasını için ayrıştırma ve TRNSYS modelleri ile Meteororm verileri arasında maksimum bağıl hata karşılaştırması.

### 2.1.3 Eğimli Yüzey Üzerine Düşen Toplam Yüzey Güneş Işınımı

Eğimli bir yüzeyde toplam yüzey ışımasını belirlemek için, izotropik gökyüzü, Hay (Hay, 1979), Perez (Perez et al., 1990) ve Reindl (Reindl et al., 1990) TRNSYS modellerinden yararlanılmıştır. Karşılaştırma yapmak amacıyla Meteororm verileri işlenmiştir. İzmir konumu için toplam eğimli yüzey ışımasını değerlendirmek için eğim ve azimut açıları sırasıyla  $30^\circ$  ve  $0^\circ$  olarak alınmıştır. Bu değerlendirme, söz konusu TRNSYS modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve Şekil 3'te gösterildiği gibi Meteororm verileri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3'teki sonuçlara göre, TRNSYS Perez 1989 modelinin (Perez et al., 1990) eğimli bir yüzeydeki toplam yüzey ışımasını için en iyi çözümü sağladığı belirlenmiştir. Yatay yüzey üzerine düşen difüz güneş ışımasını tahmini için literatürde yer alan ayrıştırma modelleri Tablo 1'de sunulmuştur. Bu modeller, yatay bir yüzey üzerine düşen global güneş ışımasını üzerinden difüz güneş ışımasını berraklık indeksi ile ilişkilendirerek tahmin eder. Berraklık indeksi, izole bir konumdaki atmosferik etkilerin bir ölçüsüdür. Bu indeks, coğrafi konum, iklim koşulları, mevsim ve yıl gibi birçok parametreye bağlı olarak değişir. Bu ışıma parametresi için ayrıştırma ve TRNSYS modelleri ile Meteororm verileri arasındaki maksimum bağıl hata

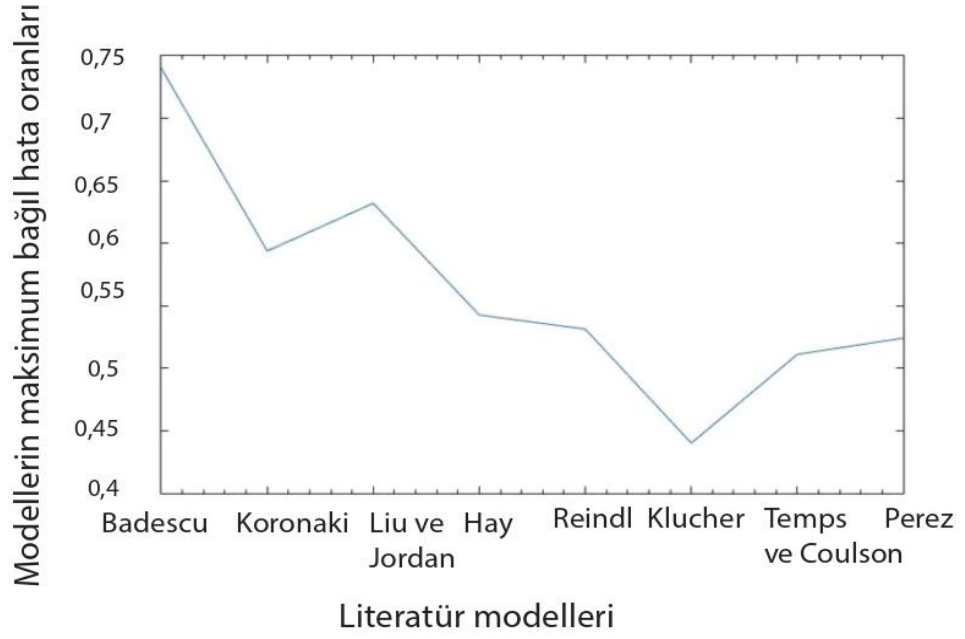
oranı karşılaştırması Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2’ye göre ayrıştırma modelleri arasında Lam and Li (1996) ile Orgill and Hollands (1977) modelleri, yatay difüz güneş ışıınımı tahmini için sırasıyla 0,809 ve 0,245’lik bağıl hata oranları ile en iyi ve en kötü modeller olarak belirlenmiştir. Bu ışıınım tahmininde TRNSYS modelinin bağıl hata oranı 0,349 olarak hesaplanmıştır.

Eğimli bir yüzeydeki toplam yüzey ışıınımı, eğimli difüz, direkt ve yere yansıyan güneş ışıınımlarının toplamıdır. Eğimli difüz ışıınımı için geliştirilen literatür modelleri ile ilişkilendirilen korelasyonlar Tablo 2’de verilmiştir. Eğimli difüz güneş ışıınımı bileşeni, TRNSYS Perez 1989 modeli (Perez et al., 1990) kullanılarak tahmin edilmiş ve bu bulgular, literatürdeki eğimli difüz güneş ışıınımı tahmin modelleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4’te, bu modellerin Perez 1989 modeli (Perez et al., 1990) ile maksimum bağıl hata oranları sunulmaktadır. Bu sonuçlara göre, literatür modelleri arasında Klucher (1979) ve Badescu (Badescu, 2002) modellerinin sırasıyla 0,438 ve 0,738’lik bağıl hata oranları ile eğimli bir yüzeydeki toplam yüzey ışıınımı tahmini için en iyi ve en kötü modeller olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3. İzmir konumunda eğim ve azimut açıları sırasıyla 30° ve 0° olan eğimli bir yüzeydeki toplam eğimli yüzey ışıınımı için TRNSYS modellerinin Meteororm verileri ile maksimum bağıl hata oranı karşılaştırması.





Şekil 4. İzmir konumunda eğim ve azimut açıları sırasıyla 30° ve 0° olan eğimli bir yüzeydeki toplam eğimli yüzey ışıınımı için literatür modellerinin TRNSYS Perez 1989 (Perez et al., 1990) modeli ile maksimum bağıl hata oranı karşılaştırması.

## 2.2 Düzlemsel Güneş Kolektörü Performans Değerlendirmesi

Düzlemsel güneş kolektörü performans değerlendirmesi için toplanan yararlı güneş enerjisi, birinci yasa ve ekserji verimliliği, eksergoekonomik ve sürdürülebilirlik parametreleri (Ballı and Çalışkan, 2021) incelenmiştir. Bu değerlendirme için kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir:

$$\dot{Q}_y = A_k I (\tau \alpha_e) - A_k U_k (T_s - T_e) \quad (1)$$

$$= \dot{m} c_p (T_{out} - T_{in})$$

$$\eta_f = \frac{\dot{Q}_y}{A_k I} = \eta_0 - \left( \frac{c_1 \Delta T}{I} \right) - \left( \frac{c_2 \Delta T^2}{I} \right) \quad (2)$$

$$\eta_{ex} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \dot{m}c_p \left[ (T_{out} - T_{in}) - T_0 \ln \left( \frac{T_{out} T_{in}}{T_{in} T_{in}} \right) \right] \\ &= \frac{\dot{m}c_p \left[ (T_{out} - T_{in}) - T_0 \ln \left( \frac{T_{out} T_{in}}{T_{in} T_{in}} \right) \right]}{A_k I \left[ 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{T_0}{T_{solar}} \right)^4 - \frac{4}{3} \frac{T_0}{T_{solar}} \right]} \\ &= \frac{\dot{m}c_p \left[ (T_{out} - T_{in}) - T_0 \ln \left( \frac{T_{out} T_{in}}{T_{in} T_{in}} \right) \right]}{A_k I \left[ 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{T_0}{T_{solar}} \right)^4 - \frac{4}{3} \frac{T_0}{T_{solar}} \right]} \\ & \dot{Q}_y = A_k I (\tau \alpha_e) - A_k U_k (T_s - T_e) \\ &= \dot{m}c_p (T_{out} - T_{in}) \end{aligned}$$

$$\dot{C}_d = c_f \dot{E}_d, \quad f_k = \frac{\dot{Z}}{\dot{Z} + \dot{C}_d} \quad (4)$$

$$EcoEF_k = \frac{1}{\eta_{ex_k}} \quad (5)$$

$$EEF_k = \frac{FEWR_k}{\eta_{ex_k}} \quad (6)$$

$$SEF_k = \frac{1}{1 - \eta_{ex_k}} \quad (7)$$

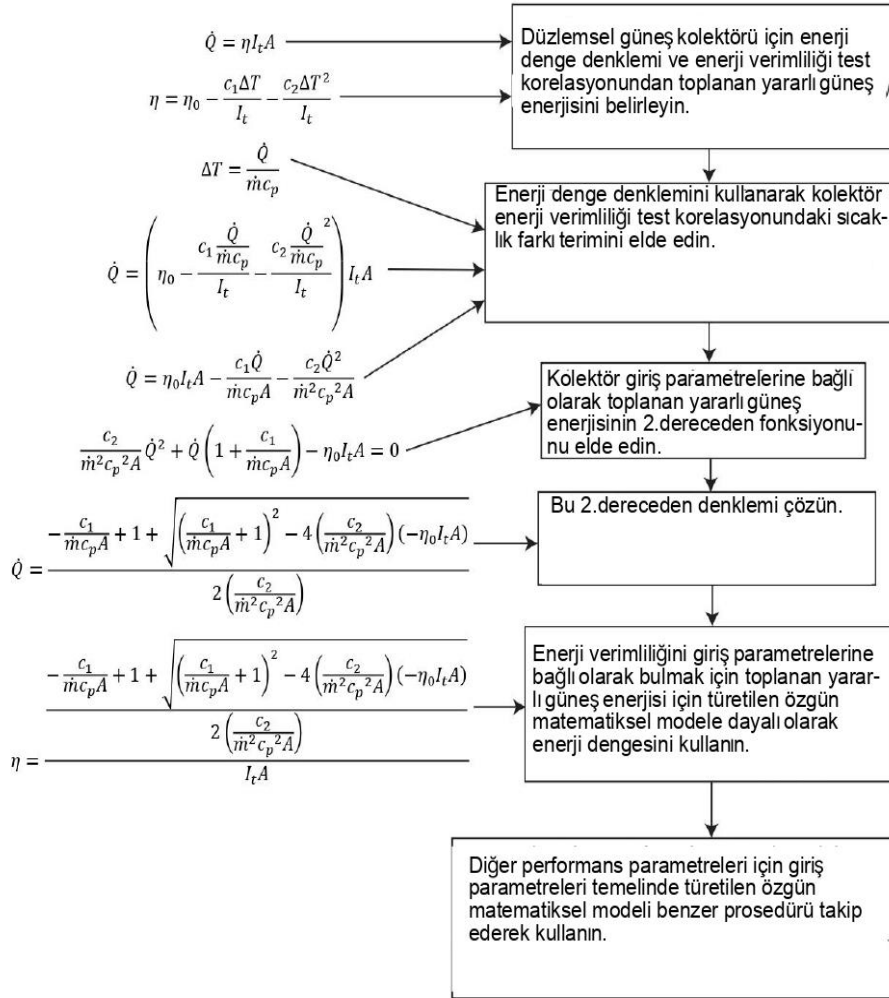
$$ExSI_k = \frac{1}{EEF_k} \quad (8)$$

$\dot{Q}_y, A_k, I, \tau \alpha_e, U_k, T_s, T_e, \dot{m}, c_p, T_{out}, T_{in}, \eta_f, \eta_0, c_1, c_2, \Delta T, \eta_{ex}, T_0, T_{solar}, \dot{C}_d, c_f, \dot{E}_d, f_k, \dot{Z}, EcoEF, EEF, SEF$  ve  $ExSI$  sırasıyla kolektör emici yüzeyinden akışkana olan ısı transfer akımı, güneş kolektörünün kesit alanı, güneş kolektörüne gelen güneş ışınım yoğunluğu, etkili emilim katsayısı,  $A_k$  değerine bağlı ortalama ısı kaybı katsayısı, ortalama yüzey ve ortam sıcaklığı, akış hızı, özgül ısı, ısı transfer akışkanının çıkış ve giriş sıcaklığı, birinci yasa verimliliği, verimlilik faktörü, birinci ve ikinci dereceden kayıp katsayısı, düzlemsel güneş kolektörü için sıcaklık farkı, ekserji verimliliği, ölü durum ve güneş sıcaklıkları, ekserji yıkım maliyet akımı, yakıt başına ortalama maliyetler, eksergoekonomik faktör, sermaye maliyet akımı, ekolojik etki faktörü, çevresel etki faktörü, yakıt ekserji atık akımı, sosyal ekolojik faktör ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksini temsil eder. Birinci yasa verimliliğinin hesaplanmasında, bu terim termodinamiğin birinci yasası veya kolektör özellikleri ile verimlilik test fonksiyonu kullanılarak belirlenebilir. Çoğu

Üretici tarafından, kolektör verimlilik testleri, güneş kolektörlerinin kabul edilebilir bir verimlilikle çalışıp çalışmadığını kontrol etmek ve birbirleriyle karşılaştırmak amacıyla gerçekleştirilir. Gerçekleştirilen test sonuçlarına göre, kolektör verimlilik eğrileri oluşturulur ve kolektör verimliliğinin ısı transfer akışkanının sıcaklığına bağlı olarak değişimi gösterilir. Bu test fonksiyonu, sıcaklık farkı/güneş ışınımı akımının ikinci derece bir fonksiyonu olarak ifade edilir.

### 2.2.1 Düzlemsel Güneş Kolektörü İçin zgn Matematiksel Modelin Geliştirilmesi

Düzlemsel güneş kolektörü performans değerlendirmesi daha geniş bir perspektifle ele alındığında, yararlı toplanan güneş enerjisi, enerji ve ekserji verimlilikleri, eksergoekonomik faktör ve ekserjitik sürdürülebilirlik indeksi kullanılmıştır. Ancak, bu değerlendirmeleri hassas bir şekilde yapabilmek için öncelikle toplanan yararlı güneş enerjisi ve güneş kolektöründe oluşan sıcaklık farkını doğru bir şekilde belirlemek gerekmektedir. İlgili performans parametrelerini belirlemek için güneş kolektöründe toplanan yararlı güneş enerjisi ve oluşan sıcaklık farkı, daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda deneysel veya ticari yazılım sonuçlarından elde edilmiştir. Performans parametrelerini belirlemedeki başarı, bu iki parametrenin doğru bir şekilde hesaplanmasına dayanmaktadır. Ancak, literatürde düzlemsel güneş kolektörleri için sadece giriş parametreleri kullanılarak performans değerlendirme parametrelerini doğrudan hesaplayabileceğimiz analitik bir denklem bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu tez kapsamında toplanan yararlı güneş enerjisi ve birinci yasa verimliliğini analitik olarak tahmin etmek için özgün bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modelde, performans değerlendirme parametreleri yalnızca  $\dot{m}, c_p, \eta_0, c_1, c_2, T_{in}, T_0$  ve  $T_{solar}$  gibi girdi parametreleri üzerinden türetilmiştir. Bu yeni matematiksel modeli geliştirmek için izlenen metodoloji şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. DGK'nin giriş parametrelerine bağlı olarak analitik yoldan performans değerlendirmesi için geliştirilen özgün matematiksel modelin genel methodolojisi.

Bu özgün matematiksel model güneş kolektörlerinde ısı transfer mekanizması için bir itici güç olan sıcaklık farkı parametresini dikkate alarak geliştirilmiştir. Bu yaklaşımla, toplanan yararlı güneş enerjisi ve birinci yasa verimlilik terimleri giriş parametreleriyle ilişkilendirilerek enerji dengesi denklemiyle birleştirilmiştir. Bu işlemle,  $\dot{Q}_y$ 'nin giriş parametrelerine bağlı ikinci dereceden bir fonksiyonunun var olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, bu ikinci dereceden denklem çözülerek toplanan yararlı güneş enerjisi ve birinci yasa verimliliği için yeni bir analitik denklem türetilmiştir. Geliştirilen yeni model, özellikleri Tablo 2'de gösterilen yedi farklı kolektör markasında incelenmiştir. Düzlemsel güneş kolektör sistemi için

enerji ve ekserji denklemlerinin uygulanmasıyla toplanan yararlı güneş enerjisi temel alınarak diğer performans parametreleri için yeni analitik denklemler elde edilmiştir. Yeni modelle elde edilen birinci yasa verimliliği ve toplanan yararlı güneş enerjisi sonuçları TRNSYS ile karşılaştırıldığında, burada maksimum bağıl hataların sırasıyla % 9,113 ve % 4,189 olduğu saptanmıştır. Sonuçlar, model ile TRNSYS arasındaki maksimum bağıl hataların sırasıyla  $\dot{Q}_y$  ve  $\eta_f$  için % 9,956 ve % 8,892 olduğunu göstermektedir.  $\dot{Q}_y$  ve  $\eta_f$  için elde edilen maksimum göreceli hata, düşük  $c_1$  değerlerine sahip güneş kolektör markalarında elde edilmiştir. Çünkü, bu parametre genellikle  $\dot{Q}_y$ 'yi domine eder ve yeni model özellikle sıcaklık farkının ısı transfer mekanizması üzerindeki etkisini dikkate almaktadır. Ancak,  $\eta_f$ 'deki maksimum bağıl hata, PV hücre verimliliğinin daha düşük sıcaklık katsayısına sahip olduğu kolektör markalarında gözlemlenmiştir. Çünkü bu modelde birinci yasa verimliliği terimi etkili sıcaklık farkı etkisi ile değerlendirilmiştir.  $c_2$  değeri genellikle bu terimi domine ettiğinden dolayı,  $c_1$ 'in değeri düşük olsa bile,  $c_2$ 'nin değeri yüksek olduğunda, birinci yasa verimlilik terimi modelde ve TRNSYS'de yakın değerler almıştır. Genellikle, geliştirilen yeni modelin  $\dot{Q}_y$  ve  $\eta_f$  hesaplamalarında TRNSYS ile oldukça yakın değerler verdiği belirlenmiştir. Ayrıca, yeni matematiksel model birinci ve ekserji verimlilikleri temelinde istatistiksel olarak test edilmiştir. Bu istatistiksel değerlendirme için ANOVA ve uygunluk istatistik sonuçları elde edilmiştir. Uygunluk istatistik sonuçlarına göre, her iki model için tahmini  $R^2$  değeri, düzeltilmiş  $R^2$  değeri ile makul bir uyum içinde bulunmuştur. ANOVA sonuçlarına göre, geliştirilen yeni matematiksel modelin birinci ve ekserji verimliliklerinin hesaplanması için anlamlı olduğu görülmüştür. İki modelde de anlamlı terimler, 0,05'ten küçük P değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Buna göre, anlamlı terimler, ana etkiler ve etkileşimler olmak üzere iki grupta toplanmıştır. Burada,  $(\dot{m}, c_1, c_2, \eta_0)$  ana etki ve  $\dot{m} - c_2$ ,  $\dot{m} - \eta_0$  ve  $c_2 - \eta_0$  interaksyonel parametrelerin her iki model için de ortak önemli terimler olduğu gözlemlenmiştir.  $c_1$ - $c_2$  etkileşimi, sadece ekserji verimliliğine dayalı model için anlamlı bulunmuştur. Çünkü birinci yasa verimliliğinde, özellikle sıcaklık farkına bağlı olarak  $\dot{m}$  ve  $\eta_0$  üzerindeki etkileşimde  $c_2$  değeri genellikle dominant olmuştur. Ancak ekserji verimliliğinde, giren ve yararlı ekserji akımları birbiriyle rekabet etmiştir. Bu nedenle, bu terimi birlikte domine eden  $c_1$  ve  $c_2$  değerleridir.  $c_1$  değeri, toplanan yararlı güneş enerjisi

nedeniyle giren ekserji akımını domine etmiştir. Ancak  $c_2$  değeri, sıcaklık farkı nedeniyle yararlı ekserji akımını domine etmiştir.

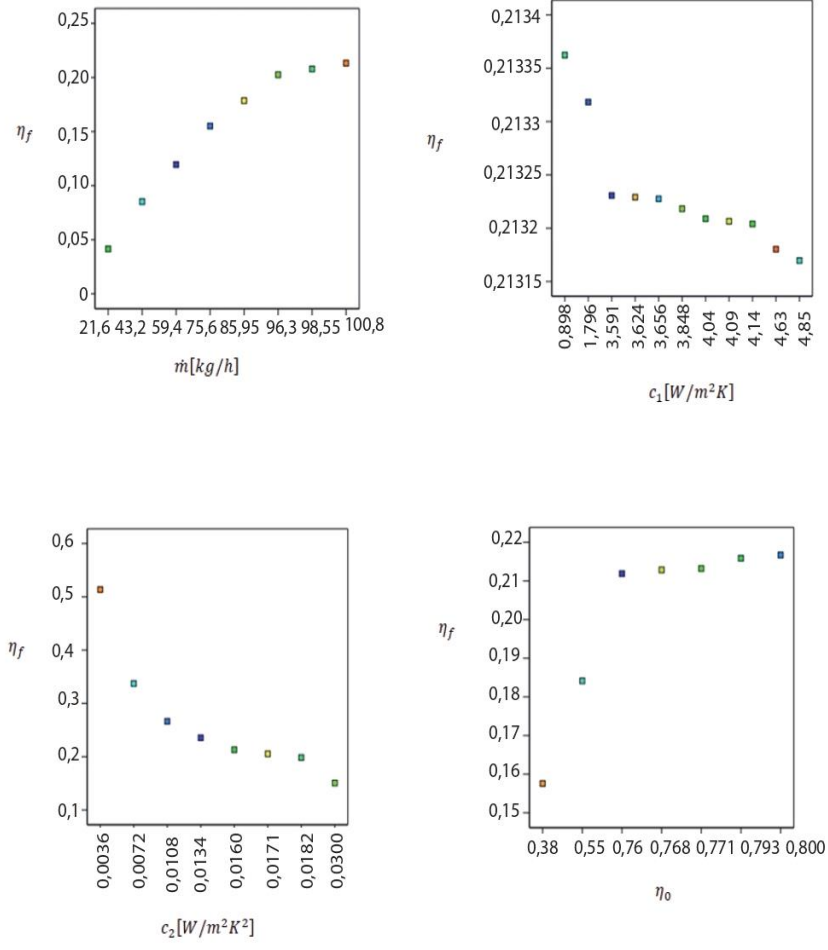
Tablo 2. İncelenen DGK modellerinin genel özellikleri.

| Kolektör modeli | Kolektör alanı [ $m^2$ ] | Kolektör verimlilik faktörü | Kolektör plaka emiciliği | Kolektör kayıp katsayısı [ $kJ/hm^2 K$ ] | PV hücre verimliliği nin yok olma katsayısı | PV hücre verimliliğinin sıcaklık katsayısı [ $1/K$ ] | Akışkan kütleli debisi [ $kg/s$ ] |
|-----------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| A               | 1,89                     | 0,768                       | 0,95                     | 12,8520                                  | 0,03                                        | $-6.635 \times 10^{-5}$                              | 0,028                             |
| B               | 2,23                     | 0,768                       | 0,95                     | 12,8520                                  | 0,03                                        | $-6.635 \times 10^{-5}$                              | 0,028                             |
| C               | 2,69                     | 0,771                       | 0,95                     | 11,664                                   | 0,03                                        | $-6.635 \times 10^{-5}$                              | 0,028                             |
| D               | 1,87                     | 0,768                       | 0,96                     | 16,668                                   | 0,03                                        | -0,0003                                              | 0,021                             |
| E               | 2,34                     | 0,78                        | 0,96                     | 16,668                                   | 0,03                                        | -0,0003                                              | 0,021                             |
| F               | 2,33                     | 0,76                        | 0,93                     | 14,904                                   | 0,03                                        | -0,0295                                              | 0,021                             |
| G               | 2,33                     | 0,793                       | 0,93                     | 14,544                                   | 0,03                                        | -0,0295                                              | 0,012                             |

$\dot{m}$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $\eta_0$  ana etkilerinin ve etkileşimlerinin birinci ve ekserji verimlilikleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için yerel ve genel duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu etkiler, Şekil 6–9'da gösterilmiştir. Şekil 6'ya göre, birinci yasa verimliliğinin  $\dot{m}$  ve  $\eta_0$ 'ın artışları ile belirli bir kritik değere kadar arttığı, ancak bu kritik değer aşıldıktan sonra bu artış oranının azaldığı gözlemlenmiştir.  $c_1$  ve  $c_2$ 'nin düşük değerleri için birinci yasa verimliliği terimi en yüksek değerini almıştır. Bu terimin  $c_1$  değeri arttıkça değişimi üç farklı bölgeye ayrılabilir; sırasıyla, hızla azalan, neredeyse sabit kalan ve monoton azalan bölgeler. Ancak  $c_2$ 'nin artmasıyla birinci yasa verimliliği değişiminde artan ve azalan hız azalma bölgeleri gözlemlenmiştir. Şekil 7'ye göre, birinci yasa verimliliği teriminin  $\dot{m}$  ve  $c_2$ 'nin artışıyla belirli bir kritik değere kadar azaldığı ve bu kritik değer aşıldıktan sonra değişimde monoton artan ve neredeyse aynı kalan iki bölge gözlemlenmiştir. Belirli bir kritik  $c_2$  değerine kadar, bu terim  $c_2$  ve  $\eta_0$  değerlerinin artışıyla azalan bir oranda azalmıştır. Bu terim,  $\dot{m}$  ve  $\eta_0$ 'ın belirli bir kritik değerine kadar artan bir

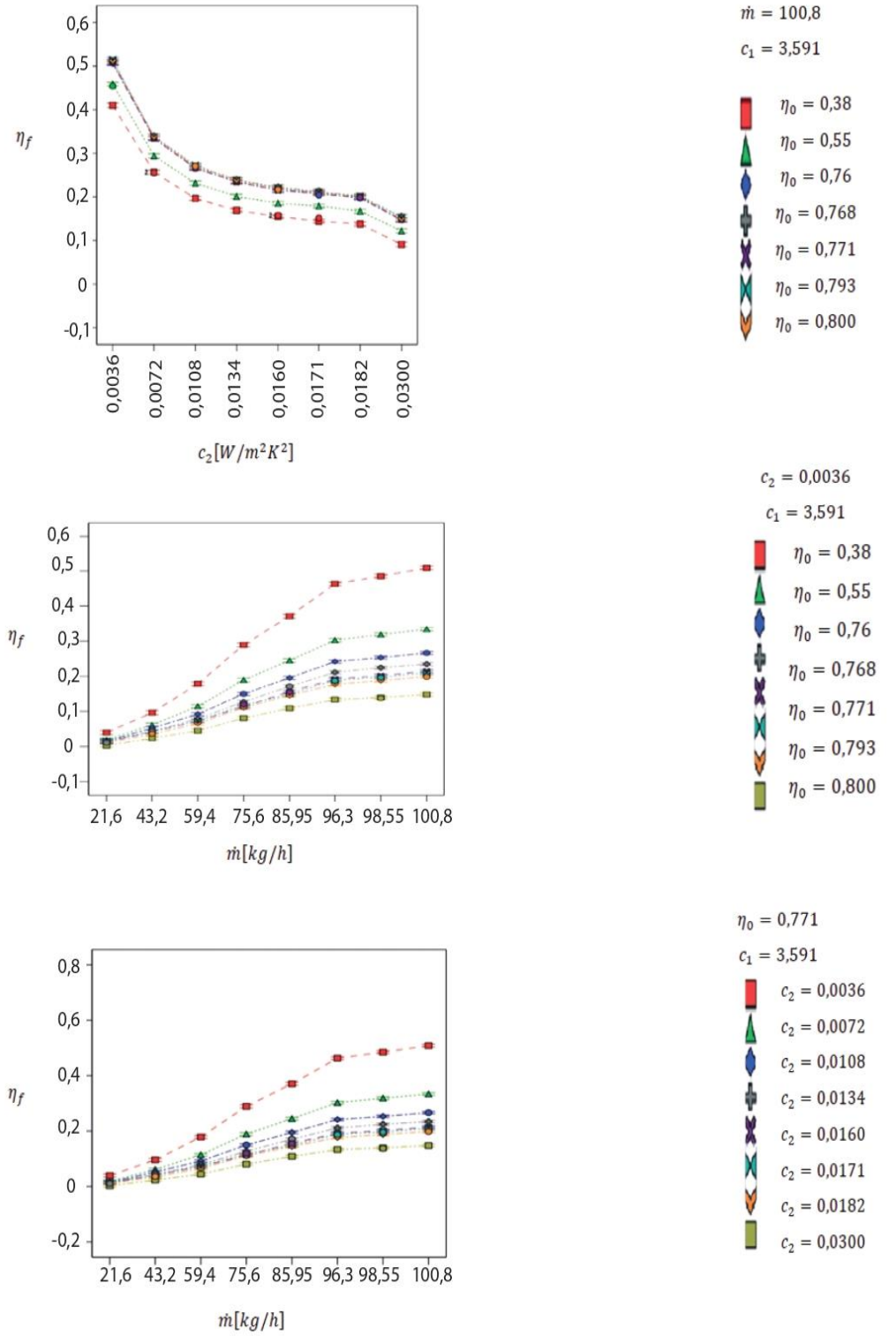
oranda artmıştır. Şekil 8'e göre,  $\dot{m}$ ,  $c_1$  ve  $\eta_0$ 'ın ekserji verimliliği terimi değişimindeki ana etkisinin ihmal edilebilir olduğu görülmüştür. Ancak  $c_2$ 'nin artışıyla bu terimin değişiminde üç farklı bölge gözlemlenmiştir: hızla artan, keskin bir şekilde azalan ve ortalama bir değer etrafında salınan. Şekil 9'a göre, bu terimin  $c_2$ 'nin artışıyla  $\eta_0$  ve  $c_2$ 'nin belirli bir kritik değerine kadar azalan bir oranda azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı etki,  $c_1 - c_2$  ve  $\dot{m} - c_2$  etkileşimleri ile de gözlemlenmiştir. Bu terimin değişiminde  $\dot{m} - \eta_0$  etkileşiminin diğer etkileşimlere kıyasla daha zayıf olduğu görülmüştür.

Geliştirilen yeni model, düzlemsel güneş kolektörlerinin yıllık kullanımı için eksergoekonomik ve sürdürülebilirlik açılarından değerlendirilmiştir. Bu amaçla, giriş ve çıkış akımlarının, yakıt ve ürünlerin tanımlanmasıyla eksergoekonomik maliyet denklemi türetimi için SPECO yöntemi kullanılmıştır. Bu ekonomik modelle akımların maliyeti, ürün ve yakıt ekserjisi başına ortalama maliyetler ve eğim ile azimut açıları için eksergoekonomik faktör değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmelerde eğim açısı için  $30^\circ$  ve azimut açısı için  $0^\circ$  değerlerini kullanılmıştır. Bu değerlendirmelerden, %1,521 eksergoekonomik faktör değeri elde edilmiştir. Bu oldukça küçük değer, düzlemsel güneş kolektöründeki ekserji yıkım e hızına ilişkin maliyetin sermaye maliyeti akımına kıyasla oldukça küçük olduğunu göstermiştir. Ekolojik etki, çevresel etki, ekserjitik sürdürülebilirlik indeksi ve sosyal ekolojik faktör için sırasıyla 65,409, 64,409, 0,015 ve 1,105 değerleri, eğim açısı için  $30^\circ$  ve azimut açısı için  $0^\circ$  için sürdürülebilirlik analizinden belirlenmiştir.

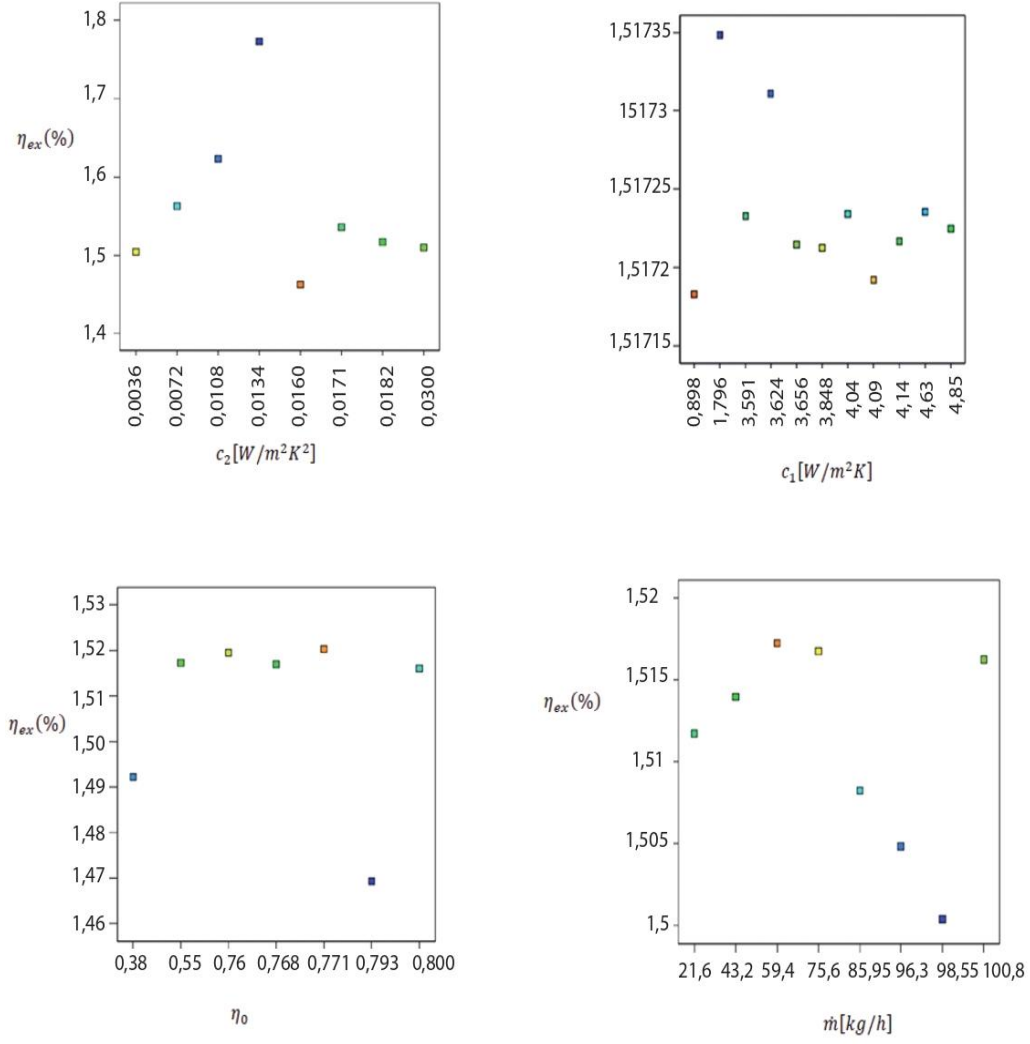


Şekil 6. Düzlemsel güneş kolektörleri için  $\dot{m}$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $\eta_0$  ana etki parametrelerinin enerji verimliliği üzerindeki etkisi.

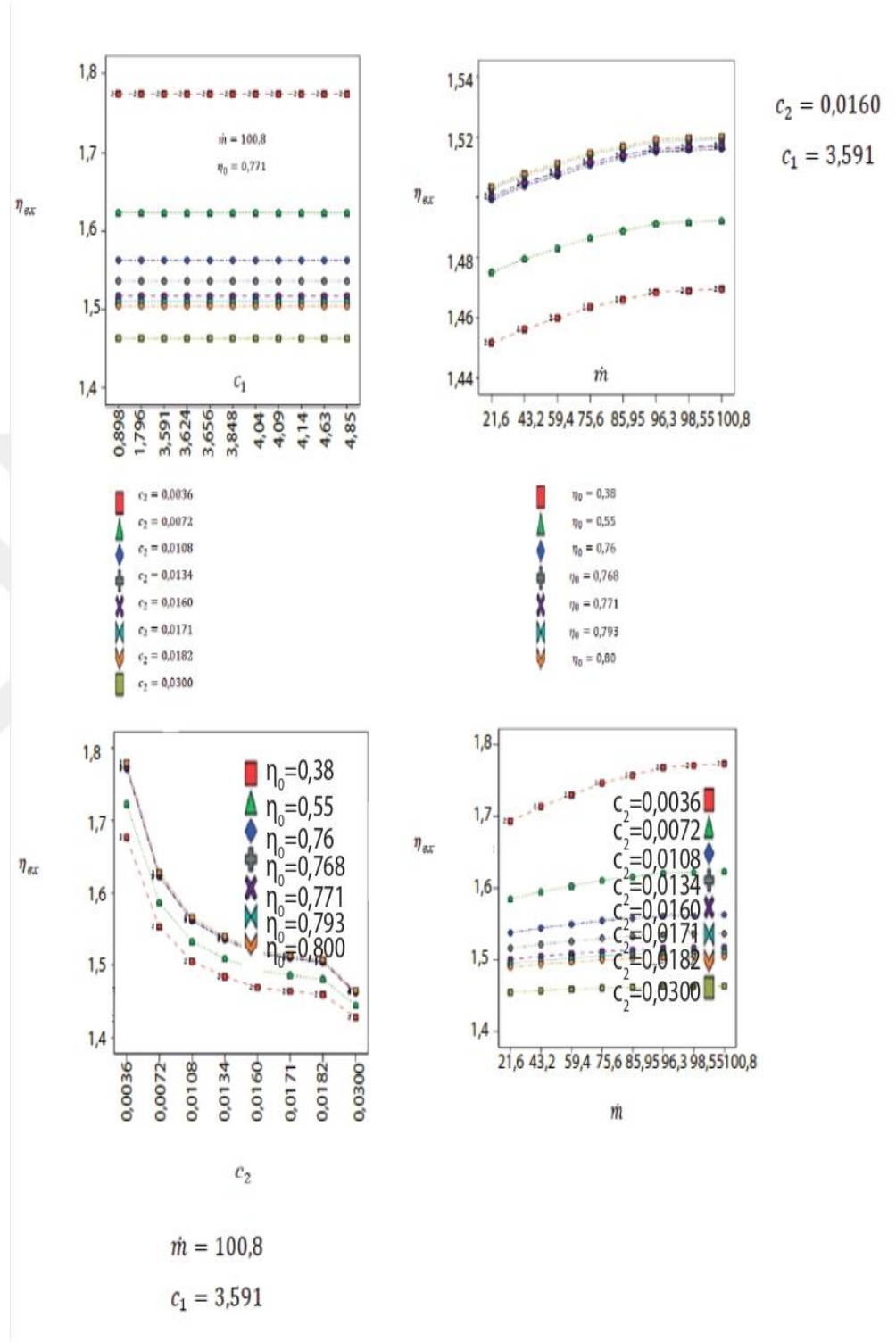




Şekil 7. Düzlemsel güneş kolektörleri için  $\dot{m}$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $\eta_0$  interaksiyonel parametrelerinin enerji verimliliği üzerindeki etkisi.



Şekil 8. Düzlemsel güneş kolektörleri için  $\dot{m}$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $\eta_0$  ana etki parametrelerinin ekserji verimliliği üzerindeki etkisi.



Şekil 9. Düzlemsel güneş kolektörleri için  $\dot{m}$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $\eta_0$  interaksiyonel parametrelerin ekserji verimliliği üzerindeki etkisi.

### 2.2.2 Düzlemsel Güneş Kolektörü İçin Eksergoekonomik Optimizasyon

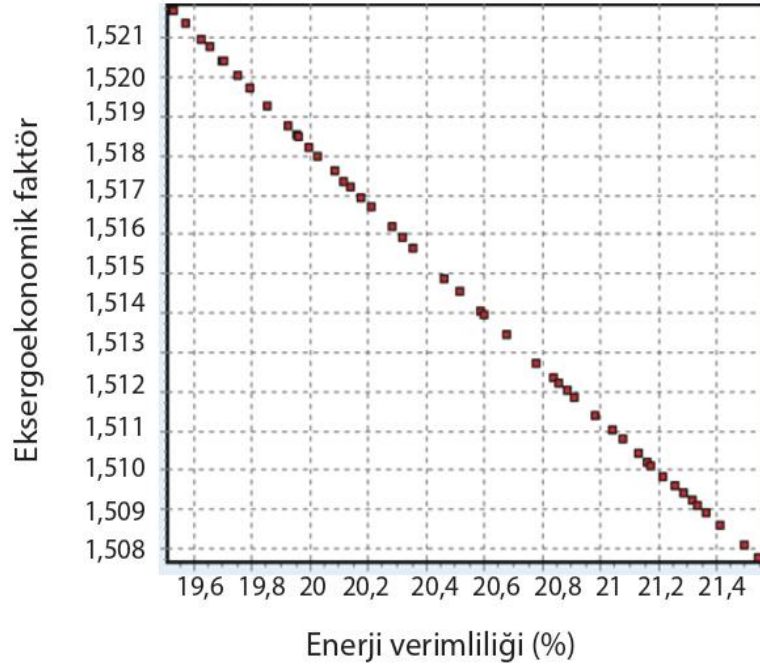
Tek ve çok amaçlı fonksiyonlar, farklı performans değerlendirme kriterleri ile birlikte düzlemsel güneş kolektörleri için optimum azimut ve eğim açısı çiftlerini belirlemek için değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, enerjitik, ekserjetik, eksergoekonomik ve sürdürülebilirlik değerlendirme parametreleri düşünülen amaç fonksiyonlarına dahil edilmiştir. Burada, konu olan parametreler yüzeydeki toplam eğik yüzey ışıınımı, birinci ve ekserji verimlilikleri, ürün maliyeti başına ortalama maliyet, eksergoekonomik faktör ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksidir. Bu değerlendirme parametrelerine dayalı olarak tek ve çok amaçlı optimizasyon işlemi, Baskın Olmayan Genetik Sıralama Algoritması (NGSA-II) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem, Tiktas ve ark. (Tiktas et al.,2022) tarafından açıklanan prosedür adım adım takip edilerek uygulanmıştır. Aynı zamanda çok amaçlı optimizasyon süreci için, optimum azimut ve eğim açısı çiftleri, İdeale Yakınlığa Göre Tercih Sırası Tekniği (TOPSIS) yöntemi aracılığıyla optimal Pareto lar arasından seçilmiştir.

Tek amaçlı farklı amaç fonksiyonlarıyla düzlemsel güneş kolektörleri için optimum eğim ve azimut açılarını tahmini amacıyla yapılan tek amaçlı optimizasyon sonuçları Tablo 3'te özetlenmiştir. Bu tabloda, toplam eğik yüzey ışıınının, birinci ve ekserji verimliliklerinin, eksergoekonomik faktörün, ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin maksimizasyonu ve ürün maliyeti başına ortalama maliyetin minimize edilmesi sırasıyla amaç fonksiyonları olarak değerlendirilmiştir. Toplam eğik yüzey ışıınının maksimizasyonu için optimum eğim ve azimut açısı çifti ( $41,19091^\circ$ ,  $10,03846^\circ$ ) olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, hem eğim hem de azimut açılarının değiştiği durumda elde edilmiştir. Ancak optimum eğim açısının, sabit bir azimut açısı için  $[-360^\circ, 360^\circ]$  aralığında değerlendirilmesi durumunda, periyodik bir sinüs eğrisini takip ettiği ve  $[41,527^\circ, 3,847^\circ]$  aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Maksimum değer, ise  $29,69^\circ$  azimut açısı için bulunmuştur. Benzer şekilde, sabit bir eğim açısı için azimut açısının değişimi,  $[-151,369^\circ, 26,848^\circ]$  değer aralığıyla benzer bir davranış sergilemiştir. Ancak sonuçlar, sırasıyla  $90^\circ$  ve  $0^\circ$  eğim açıları için maksimum ve minimum değerleri aldığını göstermiştir. Sonuçlar, her iki açının da değiştiği durumlar için optimum çiftlerin oldukça yakın olduğunu, bunun da eğim açısının, azimut açısına

kıyasla toplam eğik yüzey ışınlımındaki hakimiyetinden kaynaklandığını göstermiştir. Ekserji verimliliğinin maksimizasyonu için optimum eğim ve azimut açısı çifti  $(41,19040^\circ, 10,03803^\circ)$  olarak belirlenmiştir. Bu sonuç toplam eğik yüzey ışınlımının maksimizasyonu durumuna oldukça yakın çıkmıştır. Eksergoekonomik faktörün maksimizasyonu için optimum eğim ve azimut açısı çifti  $(41,19097^\circ, 10,03838^\circ)$  olarak hesaplanmıştır ve bu sonuç da ekserji verimliliğinin maksimizasyonu durumuna oldukça yakın olmuştur. Ürün maliyeti başına ortalama maliyetin minimize edilmesi ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin maksimizasyonu için optimum eğim ve azimut açısı çiftleri sırasıyla  $(41,19094^\circ, 10,03843^\circ)$  ve  $(41,19058^\circ, 10,0384^\circ)$  olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, eksergoekonomik faktörün maksimizasyonu durumuna oldukça yakın olmuştur. Ancak birinci yasa verimliliğinin maksimizasyonu için toplam eğik yüzey ışınlımı ve toplanan yararlı güneş enerjisinin iki olumsuz etkisi bulunmaktadır. Bu amaç fonksiyonu için optimum çift,  $(0^\circ, -0,00800^\circ)$  olarak belirlenmiştir ve bu sonuç, sabit eğim açısı için minimum optimum azimut açısı durumuna oldukça yakın olmuştur. Bu durumda, hem eğim hem de azimut açıları toplanan yararlı güneş enerjisinin maksimizasyonu ve toplam eğik yüzey ışınlımının minimize edilmesi arasındaki rekabet nedeniyle daha düşük değerlere sahiptir. Bu senaryoda, toplam eğik yüzey ışınlımı, yararlı güneş enerjisinden daha baskındır ve bu da eğim açısının minimize edilmesini tetiklemiştir. Azimut açısının toplam eğik yüzey ışınlımını minimize etme üzerinde zayıf bir etkisi vardır. Ancak yararlı güneş enerjisinin maksimizasyonu için azimut açısının minimize edilmesine neden olmuştur ve bu da İzmir konumundaki yerel kayıplar nedeniyle gerçekleşmiştir.

Eksergoekonomik faktörün veya ekserjetik sürdürülebilirlik indeksinin maksimizasyonu ve birinci yasa verimliliği birbirleriyle rekabet eden iki ana amaç fonksiyonu haline gelmiştir. Düzlemsel güneş kolektörü ile ilişkilendirilmiş birinci yasa verimliliğinin ve eksergoekonomik faktörün maksimizasyonu için eğim ve azimut açılarına dayalı çoklu amaç optimizasyon süreci, NGS-II yöntemi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bu süreçten elde edilen optimal Pareto öngörünümü, Şekil 10'da gösterilmiştir. Bu öngörünümden amaç fonksiyonları 0,5 ile ağırlıklandırarak seçilen optimum çift, TOPSIS yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. TOPSIS sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir. Bu tabloya göre, optimum eğim ve azimut çiftleri  $(0^\circ, 259,428^\circ)$  olarak belirlenmiştir. Bu sonuç,

düzlemsel güneş kolektörünün birinci yasa verimliliğini maksimize etme amacıyla elde edilen optimum çiftle oldukça yakındır. Bu, durum birim modül için ekzergoekonomik faktör ölçeğinin eğim ve azimut açılarının değişiminden etkilenmesinin oldukça küçük olmasından kaynaklanmıştır.



Şekil 10. Optimum eğim ve azimut açılarının belirlenmesine yönelik yapılan çok amaçlı optimizasyon süreci için elde edilen Pareto öngörünümü.

Tablo 3. Optimum eğim ve azimut açılarının belirlenmesi için tek amaçlı optimizasyon sonuçları.

| Amaç fonksiyonu                                                               | Optimum eğim açısı<br>(°) | Optimum azimut açısı<br>(°) |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Toplam eğimli yüzey ışınlımının<br>maksimizasyonu                             | 41,19091                  | 10,03846                    |
| Düzlemsel güneş kolektörünün<br>ekserji verimliliğinin<br>maksimizasyonu      | 41,19040                  | 10,03803                    |
| Düzlemsel güneş kolektörünün<br>birinci yasa verimliliğinin<br>maksimizasyonu | 0                         | -0,00800                    |
| Düzlemsel güneş kolektörünün<br>eksergoekonomik faktörünün<br>maksimizasyonu  | 41,19097                  | 10,03838                    |
| Birim ürün maliyeti başına ortalama<br>maliyetinin minimizasyonu              | 41,19094                  | 10,03843                    |

Tablo 4. Optimum Pareto öngörünümünden eğim ve azimut açılarının seçimi için TOPSIS sonuçları.

| Çözüm No                                                                                                                               | $\eta_f(\%)$ | $f_k(\%)$ | $diw(\%)$ | $dib(\%)$ | $siw$  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|--------|
| 1                                                                                                                                      | 19,528       | 1,5217    | 0,065     | 0,6939    | 0,0857 |
| 2                                                                                                                                      | 19,569       | 1,5214    | 0,0651    | 0,6799    | 0,0874 |
| 3                                                                                                                                      | 19,626       | 1,521     | 0,0702    | 0,6601    | 0,0961 |
| 4                                                                                                                                      | 19,651       | 1,5208    | 0,0739    | 0,6517    | 0,1019 |
| 5                                                                                                                                      | 19,7         | 1,5204    | 0,0836    | 0,6347    | 0,1164 |
| 6                                                                                                                                      | 19,748       | 1,52      | 0,0951    | 0,6181    | 0,1333 |
| 7                                                                                                                                      | 19,789       | 1,5197    | 0,1057    | 0,6043    | 0,1489 |
| 8                                                                                                                                      | 19,85        | 1,5192    | 0,1231    | 0,5833    | 0,1743 |
| 9                                                                                                                                      | 19,92        | 1,5188    | 0,1445    | 0,559     | 0,2055 |
| 10                                                                                                                                     | 19,953       | 1,5185    | 0,1549    | 0,5476    | 0,2205 |
| 11                                                                                                                                     | 19,996       | 1,5182    | 0,1684    | 0,5329    | 0,2401 |
| 12                                                                                                                                     | 20,026       | 1,518     | 0,178     | 0,5227    | 0,254  |
| 13                                                                                                                                     | 20,115       | 1,5174    | 0,2071    | 0,4921    | 0,2962 |
| 14                                                                                                                                     | 20,136       | 1,5172    | 0,2139    | 0,4851    | 0,306  |
| 15                                                                                                                                     | 20,172       | 1,5169    | 0,2259    | 0,4726    | 0,3234 |
| 16                                                                                                                                     | 20,208       | 1,5167    | 0,238     | 0,4602    | 0,3408 |
| 17                                                                                                                                     | 20,279       | 1,5162    | 0,2615    | 0,4361    | 0,3749 |
| 18                                                                                                                                     | 20,316       | 1,516     | 0,2742    | 0,4232    | 0,3932 |
| 19                                                                                                                                     | 20,355       | 1,5157    | 0,2872    | 0,4101    | 0,4119 |
| 20                                                                                                                                     | 20,463       | 1,5149    | 0,3239    | 0,3731    | 0,4647 |
| 21                                                                                                                                     | 20,513       | 1,5145    | 0,341     | 0,356     | 0,4892 |
| 22                                                                                                                                     | 20,585       | 1,5141    | 0,3655    | 0,3315    | 0,5244 |
| 23                                                                                                                                     | 20,676       | 1,5134    | 0,3963    | 0,301     | 0,5683 |
| 24                                                                                                                                     | 20,779       | 1,5127    | 0,4316    | 0,2663    | 0,6184 |
| 25                                                                                                                                     | 20,834       | 1,5124    | 0,4506    | 0,2477    | 0,6453 |
| 26                                                                                                                                     | 20,855       | 1,5122    | 0,4576    | 0,2409    | 0,6551 |
| 27                                                                                                                                     | 20,884       | 1,512     | 0,4676    | 0,2312    | 0,6691 |
| 28                                                                                                                                     | 20,91        | 1,5119    | 0,4765    | 0,2226    | 0,6816 |
| 29                                                                                                                                     | 20,983       | 1,5114    | 0,5015    | 0,1986    | 0,7163 |
| 30                                                                                                                                     | 21,039       | 1,511     | 0,5208    | 0,1804    | 0,7427 |
| 31                                                                                                                                     | 21,073       | 1,5108    | 0,5326    | 0,1693    | 0,7588 |
| 32                                                                                                                                     | 21,129       | 1,5104    | 0,5519    | 0,1516    | 0,7845 |
| 33                                                                                                                                     | 21,161       | 1,5102    | 0,5627    | 0,1418    | 0,7987 |
| 34                                                                                                                                     | 21,174       | 1,5101    | 0,5671    | 0,1379    | 0,8044 |
| 35                                                                                                                                     | 21,215       | 1,5099    | 0,5814    | 0,1254    | 0,8226 |
| 36                                                                                                                                     | 21,286       | 1,5094    | 0,6056    | 0,1053    | 0,8518 |
| 37                                                                                                                                     | 21,332       | 1,5091    | 0,6215    | 0,0933    | 0,8695 |
| 38                                                                                                                                     | 21,36        | 1,5089    | 0,6313    | 0,0865    | 0,8795 |
| 39                                                                                                                                     | 21,41        | 1,5086    | 0,6486    | 0,0761    | 0,895  |
| 40                                                                                                                                     | 21,542       | 1,5078    | 0,6939    | 0,065     | 0,9143 |
| <i>diw, dib, ve siw</i> sırasıyla her çözümün en iyi ve en kötü alternatif ile olan Öklidyen uzaklığı ve ilgili yakınlık katsayısıdır. |              |           |           |           |        |



## 2.3 ORÇ Sistemleriyle İlgili Literatürde Yapılan Çalışmalar

### 2.3.1 Tek Üretim Çıktılı ORÇ Sistemleri

Bu sistemlerde, ORÇ'den oluşan ana sistem ve birbirleriyle ve ana sistemle ilişkili alt sistemler bulunmaktadır. Ana sistemin beş temel bölümü, pompa, jeneratör, genişleyici/türbin, yoğusturucu ve ORÇ sistemine ısı girişi sağlayan kaynaktır. Burada, ana sistemdeki bileşen, egzoz gazı ana ısıtıcısı, yakıt hücresi, ısı geri kazanım buhar üretici, ısı değiştiricisi, jeotermal sıcak su kaynağı ve başka bir ORÇ gibi diğer alt sistemlerin herhangi bir bileşeni ile bağlantılı olabilir.

Song ve diğerleri (Song et al., 2020), ORÇ ve  $S - CO_2$  güç çevrimi sistemlerini içeren tek üretim çıktı bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistem, içten yanmalı motorun ürettiği ceket suyu ve egzoz gazlarındaki atık ısıyı geri kazanmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu teorik çalışmada ORÇ sistemi için R245fa kullanılmış ve ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizle  $S - CO_2$  güç çevrimi sisteminin performans parametrelerinin ORÇ sistemi ile birleşimini karşılaştırmak amaçlanmıştır. Kombine sistem için elde edilen güç çıkışı kapasiteleri 45–215 kW ve ekserji verimlilikleri %10–47.5 olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, bu parametreler sadece  $S - CO_2$  güç çevrimi sistemi için sırasıyla 25–137 kW ve %8–37 olarak elde edilmiştir. Ayrıca, ORÇ türbinin giriş basıncı ve sıcaklığı ile buharlaşma sıcaklığı alınarak parametrik bir optimizasyon gerçekleştirilmiştir. En iyi optimum noktalara göre ekonomik bir değerlendirme de uygulanmıştır. Sonuç olarak, kombine sistem ve güç çevrimi sistemleri için sırasıyla 4670–12000 ABD Doları/kW ve 4660–10500 ABD Doları/kW minimum yatırım maliyeti aralıkları elde edilmiştir.

Sadaghiani ve diğerleri (Sadaghiani et al., 2018), jeotermal ısı kaynağına sahip iki ORC sistemi ve bir Kalina çevrimini içeren tek üretim çıktı bir sistem geliştirmişlerdir. Bu jeotermal ısı kaynağı, 163°C sıcaklıkta, 7 bar basınçta ve 39 kg/s'de çalışmıştır. Sıvılaştırılmış doğal gaz ısı alıcısı ise -162°C sıcaklıkta, 7 bar basınçta ve 8 kg/s sıcaklığında çalışmıştır. Bu sistem, güç üretmek ve ısı kaynağı ile ısı alıcısındaki atık ısıyı geri kazanmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu yapıda,

Kalina çevriminin yoğunlaştırucusu, etanı bir çalışma akışkanı olarak kullanarak kayıpları sınırlamak için birinci ORÇ sistemi kazanı olarak alınmıştır. İkinci ORÇ sistemi yoğunlaştırucusunda ise izo-bütan çalışma akışkanı kullanılarak sıvılaştırılmış doğal gaz, net güç çıktısını artırmak için kullanılmıştır. Bu teorik çalışmada ekserji ve enerji analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin sonucunda, 13648 kW net güç çıktısı, %13,25 termal verim ve %26,13 ekserji verimi elde edilmiştir. Bu sistemde termal verimle karşılaştırıldığında daha yüksek ekserji verimi, Kalina çevrimi yoğunlaştırucusunun aynı zamanda birinci ORÇ sistemi kazanı olarak kullanılmasına atfedilmiştir. Ayrıca, bu durum, Kalina çevriminden birinci ORÇ sisteminde ekserji geri kazanımı sağlamaktan da kaynaklanmıştır. Sistem ekserji verimini maksimize etme temelinde bir duyarlılık analizi ve optimizasyon süreci gerçekleştirilmiştir. Duyarlılık analizi ile sistemin net güç çıktısı ve ekserji verimine Kalina ve ORC çevrimi pompalarının basınç ve akış hızının etkisi değerlendirilmeye çalışılmıştır. Öte yandan, optimizasyon süreci ile sistem için en iyi çalışma koşulları elde edilmiştir. Duyarlılık analizi, tüm akışların kütledebilerinin artmasıyla sabit bir akış hızında basıncın artmasıyla net çıkış gücünün azaldığını göstermiştir. Bununla birlikte, sabit bir basınç altında tüm akışların kütledebisi artarak arttığı da görülmüştür. Ekserji verimi, birinci ORÇ sistemi pompa basıncının değişimi nedeniyle istikrarsız bir şekilde gerçekleşmiştir. Genellikle sabit bir basınç altında, ekserji verimi Kalina ve ikinci ORÇ sistemi pompa kütledebisi artmasıyla artmıştır. Kalina pompa kütledebisi artması 30 bar basınçta ve 6,9 kg/s kütledebisi artması beklenmiştir.

Liu ve diğerleri (Liu et al., 2020), proton değişim membranlı yakıt hücresi içeren tek üretim çıktı bir sistem oluşturmuşlardır. Bu sistem, güç üretmek ve yakıt hücresi katot tarafı egzoz gazlarındaki atık ısıyı geri kazanmak amacıyla tasarlanmıştır. Atık ısı geri kazanımı, bir ısı değiştirici kullanılarak ve yakıt hücresinin ısısını emerek elde edilmiştir. Bu yapıda, soğutma işlemi soğutma suyu sistemi kullanımı yerine ORÇ çalışma akışkanı tarafından sağlanmıştır ve bu sayede sistem verimliliği artarken toplam sistem üretim maliyeti azalmıştır. Bu teorik çalışmada ORÇ çalışma akışkanı olarak R245fa ve yakıt hücresi anot tarafı için hidrojen kullanılmış ve enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Sistem performansını etkileyen yakıt hücresi giriş sıcaklığı, akım yoğunluğu, ve aşırı ısınma sıcaklığı ile ORÇ çalışma akışkanının doyma basıncı gibi bazı seçilmiş

önemli parametreler dikkate alınmıştır. Ardından, bu değerlendirmelerin sonucunda 16-24 kW güç çıktıları, %44-48 termal verim değerleri ve %52-59 ekserji verimleri elde edilmiştir. Sistem güç çıkışı ve termal verimi, yakıt hücresi giriş sıcaklığı arttıkça yavaşça artmış ve bu terminal değere ulaştıktan sonra sistem performans göstergeleri düşmeye başlamıştır. Çünkü hücre voltajının etkisiyle güç tüketimi artmıştır. Ayrıca, ORÇ'den elde edilen gücün azalması, ısı emme ve atık ısı geri kazanma akımına bağlı olarak başka bir neden oluşturmuştur. Akım yoğunluğunun artması, hem ORÇ hem de yakıt hücresi tarafındaki güç çıkışını artırmıştır. Çünkü atık ısı geri kazanma akımı artarken sistem enerji ve ekserji verimleri azalmıştır. Bu azalma, elektriksel potansiyelden kaynaklanan yakıt hücresi kayıplarının artmasından kaynaklanmıştır. R245fa, R11, R134a, R123 ve izobütan ORÇ için çalışma akışkanları alınarak ORÇ çalışma akışkanının sistem verimlilik indeksleri üzerindeki etkisini göstermek için kullanılmıştır. R245fa, net güç çıkışı, ekserji ve termal enerji verimlilik değerleri ve çevreye duyarlılık açısından en uygun ORÇ çalışma akışkanı özelliklerine sahip bulunmuştur. Aşırı ısınma sıcaklığı ve doyma basıncının artması, sistem net güç çıkışını ve termal ve ekserji verimlilik değerlerini artırmıştır.

Eveloy ve diğerleri (Eveloy et al., 2016), ORÇ, gaz türbini çevrimi ve iç katı oksit yakıt hücresi sistemlerini içeren tek üretim çiktılı bir sistemi analiz etmişlerdir. Bu sistem, güç üretmek ve art yakıcının egzoz gazlarındaki atık ısıyı geri kazanmak amacıyla oluşturulmuştur. Atık ısı geri kazanımı, gaz türbini çevriminde hava ve yakıtın ön ısıtılmasını gerçekleştirmek için reküperatörler kullanılarak sağlanmış ve yakıt hücresi çevriminde de aynı şekilde uygulanmıştır. Bu yapıda, gaz türbini tarafından üretilen atık ısı, bir reküperatörle birlikte ısı geri kazanım buhar jeneratörü aracılığıyla ORÇ çevriminde kullanılmıştır. Gaz türbini çevrimi kütleli debi ve sıcaklığı sabit tutularak temel çevrimin ihtiyaç duyduğu ısıyı sağlamıştır. Bu teorik çalışmada ORÇ çalışma akışkanı olarak toluen, benzen, sikloheksan, siklopentan, R123 ve R245fa kullanılmış, gaz türbini yakıtı için ise doğal gaz tercih edilmiş ve enerji, ekserji ve ekonomik analizler yapılmıştır. Bu analizler, en uygun ORÇ çalışma akışkanını seçerek gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, gaz türbini ve yakıt hücresi çevrimlerinin kombinasyonu için bu altı farklı ORÇ çalışma akışkanı ile ORÇ sistemi olmadan simülasyonlar yapılmıştır. ORÇ sisteminin termal ve ekserji verimleri, elektrik güç çıktı kapasiteleri 15 ile 28 MW arasında değişen değerlerde

sırasıyla %61,5-64 ve %59,5-62 aralığında bulunmuştur. Bu termal ve ekserji verim değerleri, ORÇ sistemi olmadan gaz türbini ve yakıt hücresi çevrimlerinin kombinasyonu için olanlardan %3,3-6,1 daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni, gaz türbini egzoz gazlarındaki atık ısıyı geri kazanarak ısı girişini ve güç çıktısını arttırmak olmuştur. Sistemin toplam sermaye maliyeti 28.5 milyon \$, net bugünkü değeri 17-54 milyon ABD Doları ve sistem ömrü 3-6 yıl olarak tahmin edilmiştir. Bu tahminler, ekonomik değerlendirme sonuçlarından elde edilen uluslararası standart gaz fiyatlarına dayanmıştır.

Ebrahimi ve diğerleri (Ebrahimi et al., 2016), katı oksit yakıt hücresi, mikro gaz türbini ve ORÇ sistemlerini tek üretim çıktıları bir sistem tasarlamışlardır. Bu sistem, güç üretmek ve yakıt hücresi ile mikro gaz türbini egzoz gazlarındaki atık ısıyı ORÇ sistemindeki bir buhar jeneratörü aracılığıyla geri kazanmak amacıyla önerilmiştir. Bu teorik çalışmada ORÇ çalışma akışkanı olarak R123 kullanılarak enerji analizi parametrik olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma için belirlenen başlıca parametreler; yakıt akış hızı, akım yoğunluğu, buharın karbona oranı, yakıt hücresindeki ısı kaybı, yakıt kullanma faktörü, ORÇ maksimum ve minimum basıncı, yakıt hücresi basıncı, reformer sıcaklığı ve bu çalışma için aşırı ısıtma derecesidir. Bu değerlendirmelerden 8–18 kW güç çıktıları, %45–70 genel termal verimlilik ve maksimum %45 yakıt tasarrufu elde edilmiştir. Hassasiyet analizi ile bu parametrelerin sistem elektrik verimine etkileri değerlendirilmek istenmiştir. Ancak aynı zamanda buhar jeneratöründeki kenetlenme noktası sıcaklık farkının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Akım yoğunluğunun artması, yakıt hücresinde net voltajın, genel sistem verimliliğinin ve net güç çıktısının azalmasına yol açmıştır. Çünkü bu durum voltaj polarizasyonunu artırmıştır. Yakıt hücresi basıncı optimum değerine ulaşıncaya kadar net güç çıktısı ve genel sistem verimliliğini artırmıştır, ancak daha sonra yakıt hücresi aktivasyonunu ve konsantrasyonunu azaltarak ve Ohmik kaybı artırarak azalmıştır. Reformer sıcaklığı arttıkça genel sistem verimliliği sürekli olarak artmıştır. Ancak net güç çıktısı ve yakıt hücresindeki net voltaj, optimum değerine ulaştıktan sonra sabit kalmıştır ve sonrasında azalmıştır. Yakıt hücresindeki artan ısı kaybı, genel sistem verimliliğini ve net güç çıktısını azaltmıştır. Yakıt kullanma faktöründeki artış, net voltajı ve genel sistem verimliliğini artırarak Ohmik kayıpları artışından dolayı net güç çıktısını azaltmıştır. Buharın karbona oranındaki artış, açık devre voltajını azalttığı için yakıt

hücresinin net voltajını ve güç çıktısı ile genel sistem verimliliğini azaltmıştır. ORÇ çalışma basıncı arttıkça, net güç çıktısı artmıştır ve genel sistem verimliliği neredeyse aynı kalmıştır. Ancak ısı geri kazanma akımı azalmıştır. Duyarlılık analizi sonuçları, reformer sıcaklığı, yakıt kullanma faktörü, ORÇ çalışma basıncı ve yakıt hücresi basıncının pozitif etkiye sahip olduğunu ve bu parametrelerin sistem elektrik verimliliği üzerinde en etkili olanlar olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, buharın karbona oranı ve akım yoğunluğu negatif etkiye sahip olmuştur.

Bagherzadeh ve diğerleri (Bagherzadeh et al., 2020), Brayton güç çevrimi ve bir kompresörlü hava sistemi içeren ORÇ sistemlerinden oluşan tek üretim çıktılı bir sistemi incelemişlerdir. Bu sistem sadece güç üretimi için tasarlanmıştır. Bu konfigürasyonda Brayton çevriminde bir ara soğutucu kullanılarak, ORÇ çevriminde buhar elde etmek ve ayrıca kompresörsüz çalışan gaz türbini çevrimini çalıştırmak için ısı salınımına yardımcı olmuştur. Bu teorik çalışmada ORÇ çalışma akışkanı olarak R123, R141b, isopentan ve n-pentan kullanılarak enerji ve ekserji analizleri, Brayton ve ORÇ sistemi için optimum çalışma koşulları tahmin edilerek gerçekleştirilmiştir. Çevrimlerin basınç oranı ve ORÇ çalışma akışkanı seçimi, bu parametrelerin sistem performans özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilirken tahmin edilmiştir. Bu analizlerin sonucunda, simülasyonlardan sırasıyla 270,5–292,5 MW net güç çıkışları, %7–34,5 enerji verimlilikleri ve %26–62 ekserji verimlilikleri elde edilmiştir. Kompresörün sıkıştırma oranının artması, ORÇ'deki enerji verimliliğini artırmıştır. Çünkü ara soğutucuya giren hava sıcaklığı yüksek olmuştur ve termal ve ekserji verimlilikleri, limit değerine ulaştıktan sonra azalmıştır. Bu durum, güç üretim akımına göre güç tüketimindeki artış oranının daha yüksek olmasından kaynaklanmıştır. Basınç oranının artması, türbinde güç üretimini artırmak amacıyla ORÇ çalışma akışkanları için optimum bir nokta ile termal ve ekserji verimliliklerini artırmıştır. Bu deneylerde, R123 ve isopentan, sırasıyla termal ve ekserji verimlilikleri açısından en uygun çalışma akışkanları olmuştur.

Mamaghani ve diğerleri (Mamaghani et al., 2015), ORÇ, gaz türbini ve yüksek sıcaklıkta erimiş karbonat yakıt hücresi sistemlerini içeren tek üretim çıktılı bir sistemi incelemişlerdir. Bu sistem, katalitik brülörün egzoz gazından atık ısı üretmiştir ve ORÇ sistemi kullanarak bu atık ısıyı geri kazanılmıştır. Bu brülör,

elektrokimyasal reaksiyon için yakıt hücresine gerekli olan ısıyı sağlamıştır ve hidrojen, karbon monoksit ve saf metan karışımına yanarak dönüşmüştür. Bu teorik çalışmada ORÇ çalışma akışkanı ve yakıt olarak sırasıyla toluen ve saf metan kullanılarak, bu sistem üzerine çok amaçlı bir optimizasyon süreci ile ekserji, enerji, çevresel ve ekonomik analiz yöntemleri uygulanmıştır. Bu süreç, sistem ekserji verimliliğinin maksimize edilmesi ve sistem toplam maliyet akımının minimize edilmesi olarak bir amaç fonksiyonu ve genetik algoritma yöntemini içermiştir. Ayrıca, faiz akımının, birim yakıt maliyetinin ve ekonomik parametrelerin değişiminin çok amaçlı optimizasyonun sonuçları üzerindeki etkileri, bir duyarlılık analizi ile değerlendirilmiştir. Çevresel değerlendirmede, katalitik brülör ve yakıt hücresinden kaynaklanan gaz emisyonları hesaplanmıştır ve çok amaçlı optimizasyon bağlamında çevresel sosyal maliyetle ilişkilendirilmiştir. Çok amaçlı optimizasyon sonuçlarından elde edilen Pareto öngörünümleri, sistem ekserji verimliliğinin artmasıyla sistem toplam maliyet akımının çok az arttığını göstermiştir. Ancak, bu durum, verimlilik değerinin sınır değerine kadar gerçekleşmiştir. Bu noktadan sonra, bu verimlilik değerini artırmak, sistem toplam maliyet akımında daha keskin bir artışa neden olmuştur ve en düşük toplam maliyet akımı ile sistem ekserji verimliliğinin en yüksek olduğu iki tasarım noktası oluşmuştur. Pareto öngörünümlerinden çok amaçlı tasarım noktalarını seçmek için TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Tasarım noktaları, sistem ekserji verimliliğinin maksimize edilmesi ve sistem toplam maliyet akımının minimize edilmesine dayanmıştır. Çok amaçlı optimizasyon, sırasıyla %56,06, %49,44, %54,95 ekserji verimlilikleri ve 0,01106 Euro/s, 0,00971 Euro/s ve 0,01023 Euro/s toplam maliyet akımlarına sahip olmuştur. Çevresel ve ekonomik analizler, ekserji verimliliğini maksimize etmeye dayanan tasarım noktasının en az hava kirliliğini sağladığını göstermiştir. Çünkü yakıt tüketimi azalmıştır ve ORÇ buharlaştırıcısı, gaz türbini ve yakıt hücresi yığını sistemdeki en pahalı bileşenleri oluşturmuştur. Duyarlılık analizi sonuçları, yüksek ekserji verimlilik değerlerinde sistem toplam maliyet akımının faiz oranı ve yakıt birim maliyetinin değişiminden etkilendiğini göstermiştir. Bu nedenle, bu değerlerin artırılması, optimal tasarım noktalarının daha verimli noktalara kaymasına neden olmuştur.



## 2.3.2 Çok Üretim Çıktılı ORÇ Sistemleri

### 2.3.2.1 Kojenerasyon ORÇ Sistemleri

Yağlı ve diğerleri (Yağlı et al., 2021), buhar kazanı, gaz türbini ve ORÇ'den oluşan bir kojenerasyon sistemi incelemişlerdir. Bu sistem, 12 bar basınçta 2 kg/s kütleli debide elektrik ve buhar üretimi için oluşturulmuştur. Bu teorik çalışmada ORÇ sistemi için sikloheksan, benzen, hekzan, R11, R600, R601, toluen ve R123 kullanılarak enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerin sonucunda, 450–1076,8 kW güç üretimi, sırasıyla %65,83–69,19 termal ve %70,5–75,5 ekserji verimi elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre ORÇ türbini basınçları 35 bar'a kadar olan süre boyunca benzen en uygun çalışma akışkanı olmuştur. Ancak bu sınırdan sonra en uygun olan, net güç üretimi açısından R123 olmuştur. Ayrıca sistem verimini artırmak için parametrik optimizasyon ve ekonomik değerlendirme, en iyi optimum noktalara göre yapılmıştır. ORÇ türbini giriş basıncı ve sıcaklığı ile ORÇ çalışma akışkanı optimizasyon parametreleri olarak alınmıştır. Bu değerlendirmelerden 988790–1210921 ABD Doları/kW yatırım maliyet akımı ve 2,7–3,6 yıl geri ödeme süreleri elde edilmiştir. R11, basınç oranının minimize edilmesi nedeniyle diğer çalışma akışkanlarına göre neredeyse aynı net güç üretimi ile daha düşük geri ödeme süresine sahip olmuştur. Tüm koşullarda en kötü çalışma akışkanı ise R600 olmuştur.

Salim ve Kim (Salim and Kim, 2019), jeotermal enerji kaynaklı ORÇ sistemi içeren bir kojenerasyon sistemi araştırmıştır. Bu sistem, güç üretimi ve soğutma ihtiyaçları için oluşturulmuştur. Bu teorik çalışmada R236ea, R245ca ve R245fa'nın soğutma çevrimi ve ORÇ sistemi için kullanılmasıyla enerji, ekserji, çok amaçlı optimizasyon ve duyarlılık analizleri yapılmıştır. Çok amaçlı optimizasyon süreci, NSGA-II algoritması kullanılarak sistem maliyetinin minimize edilmesini ve sistem termal verimliliğinin maksimize edilmesini içermiştir. Duyarlılık analizi ile ORÇ buharlaşma basıncının, ORÇ buharlaştırıcı ve kondenserde kenetlenme noktası sıcaklık değişiminin, süper ısıtma derecesinin ve soğutma çevrimi buharlaştırıcının giriş sıcaklığının değişimiyle sistem performans parametrelerinin değişimi değerlendirilmeye çalışılmıştır. Tersinmezlik akımı, sistem termal verimliliği, ısı

değiştirici ve türbin boyut parametresi seçilen sistem performans parametreleri olmuştur. En düşük maliyet ve termal verimlilik, sırasıyla R236ea ve R245ca kullanılarak sağlanmıştır. R245fa, sistem termal verimliliği ve maliyeti açısından optimum bir çalışma akışkanı haline gelmiştir. %35,8 termal verimlilik, %54,2 tersinmezlik oranı, 99,6 kW/K ve 0.386 dm ısı değiştirici ve türbin boyut parametresi olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, jeotermal ısı kaynağının kullanıldığı optimize edilmiş kojenerasyon sistemi kullanılarak elde edilmiştir.

Zare ve ark. (Zare et al., 2012), gaz türbini, modüler helyum reaktörü ile iki ORÇ sistemi içeren bir kojenerasyon sistemini incelemişlerdir. Bu sistem, atık ısının geri kazanımı, güç üretimi ve saf su üretimi için tasarlanmıştır. Saf su üretimi, modüler helyum reaktörü-gaz türbini sisteminin atık ısı kaynağının sıcaklığını bir emme ısı dönüştürücü ve distilasyon işlemi aracılığıyla ön soğutucu ile artırarak sağlanmıştır. Bu teorik çalışmada ORÇ çalışma akışkanı olarak R123 ve R1234yf ve emme ısı dönüştürücü çalışma akışkanı olarak lityum bromür-su çözeltisi kullanılarak enerji ve optimizasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon süreci, kojenerasyon sisteminin termal verimliliğinin maksimize edilmesini içermiştir. Bu süreçte, kompresör basınç oranı, gaz türbini giriş sıcaklığı, ORÇ buharlaştırıcı sıcaklığı ve kenetlenme nokta sıcaklığı, atık ısı kaynağı sıcaklığı gibi optimizasyon parametreleri alınmıştır. R1234yf kullanımı için elde edilen termal verimlilikler %50,03–57,24, net güç çıkışları 281,21–329,75 MW, üretilen saf su kütlesi akış hızları ise 5,267–6,986 kg/s aralığında bulunmuştur. Bu parametreler, R123 kullanımı için sırasıyla %49,96–57,35, 281,45–328,51 MW ve 5,258–7,001 kg/s olarak elde edilmiştir. Ayrıca, uygulanan parametrik optimizasyon çalışmasının sonuçlarına dayanarak termal verimliliğin azaldığı ve üretilen saf su kütlesinin arttığı belirlenmiştir. Bu artış, atık ısı sıcaklığının ve ORÇ buharlaştırıcı kenetlenme noktası sıcaklığının artmasına bağlı olmuştur. Çünkü kompresör giriş sıcaklığı ve güç tüketimi artarken, absorber sistemindeki ısı dönüşümü azalmıştır. Bu nedenle akış akımı azalmış ve absorber sistemindeki absorbe ısı kapasitesi artmıştır. Termal verimlilik, gaz türbini giriş sıcaklığı arttıkça artmıştır ve üretilen saf su kütlesi akış hızı azalmıştır. Çünkü absorber sistemindeki absorbe ısı kapasitesi azalırken, kompresör basıncı arttıkça termal verimlilik artmıştır. Bu artış, belirli bir ORÇ buharlaştırıcı sıcaklığında sistem kütlesi akış hızı ve termal verimliliğinin maksimize edildiği bir sınıra kadar gerçekleşmiştir.



Salehi ve ark. (Salehi et al., 2019), erimiş karbonat yakıt hücresi, biyokütle gazlaştırıcı, ORÇ, Stirling motoru ve ısı geri kazanım buhar üretici içeren bir kojenerasyon sistemi incelemişlerdir. Bu sistemde, güç üretimi, ORÇ ile erimiş karbonat yakıt hücresi ve biyokütle gazlaştırıcıdan sağlanmıştır. Stirling motoru, güç ünitesindeki hava kompresörünün çalıştırılması için güç sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Isıtma ihtiyaçları, ısı geri kazanım buhar üretici tarafından karşılanmıştır. Bu teorik çalışmada ORÇ çalışma akışkanı olarak toluen kullanılarak ve aşağı akımlı gazlaştırıcı seçilerek enerji, ekserji ve çevresel analizler yapılmıştır. Ayrıca erimiş karbonat yakıt hücresinde kenetlenme noktası sıcaklığı değişiminin, akım yoğunluğunun, yakıt hücresinin çalışma sıcaklığının ve yakıt kullanım oranının etkileri de dikkate alınmıştır. Bu incelemelerden 4–56 kW ısıtma kapasitesi, 20–320 kW güç çıkışı, %35–61,26 termal verim, %23,75–50,18 ekserji verimi ve maksimum 0,289 t/MWh karbon dioksit emisyonu elde edilmiştir. Akım yoğunluğunun artması, termal ve ekserji verimlerinin azalmasına, ısı kapasitesinin ve güç çıkışının artmasına neden olmuştur. Çünkü sabit giriş sıcaklığı için yakıt kullanım oranını ve yakıt hücresindeki pinch nokta sıcaklık farkını arttırmak, termal ve ekserji verimlerini, güç çıkışını ve ısı kapasitesini artırmıştır. Bu durum, yakıt hücresinin çıkış entalpisinin artmasından kaynaklanmaktadır.

Kumar ve Singh (Kumar and Singh, 2019), katı oksit yakıt hücresi, tekrar ısıtılmalı gaz türbini ile ORÇ ve emme buharlı soğutma sistemlerini içeren bir kojenerasyon sistem tasarlamıştır. Atık ısının geri kazanımı ve enerji üretimi, katı oksit yakıt hücresi ve tekrar ısıtılmalı gaz türbini ile ORÇ'nin birleşimiyle sağlanmıştır. Aynı zamanda, soğutma ihtiyaçları, tekrar ısıtılmalı gaz türbini egzoz gazlarından emme buharlı soğutma sistemi kullanılarak karşılanmıştır. Bu teorik çalışmada, soğutma sistemi ve ORÇ çalışma akışkanı için sırasıyla amonyak buharı ve R1233zd(E) kullanılmıştır. Soğutma enerjisi yardımı ile kompresörde giriş hava sıcaklığının düşürülmesinden yararlanılmıştır. Yakıt kullanım oranı, ORÇ türbin giriş sıcaklığı, sıkıştırma oranının etkilerini dikkate alarak enerji ve ekonomik değerlendirmeler yapılmıştır. Bu analizlerden %60–73,8 termal verim, 14–23 ton soğutma etkisi, 1095–1470 kJ/kg iş çıkışı ve 1939,93 ABD Doları/kW birim güç maliyeti elde edilmiştir. Kojenerasyon sisteminin termal verimi, yakıt kullanım oranının artmasıyla azalmıştır. Çünkü dış ısı talebi artmıştır. İş çıktısı ve soğutma etkisi, sıkıştırma oranının ve ORÇ türbin giriş sıcaklığının artmasıyla artmıştır.

Çünkü genişleme işindeki kazanç, kompresörde tüketilen işten daha büyük olmuştur ve kompresör çıkış sıcaklığının artmasıyla soğutma sisteminin atık ısı sıcaklık kaynağının sıcaklığı artmıştır. Ayrıca, sınırlı bir kompresör basınç oranı ile türbin giriş sıcaklığının artmasıyla termal verim artmıştır.

### 2.3.2.2 Trijenerasyon ORÇ Sistemleri

Al-Suleiman ve ark. (Al-Suleiman et al., 2011) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada trijenerasyon bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistem, parabolik güneş kolektörleri ile ORÇ sistemi, tek etkili soğutucu ve ısı değiştiricilerini içermiştir. Elektrik üretimi, parabolik güneş kolektörleri ile ORÇ sistemi tarafından sağlanmıştır. Soğutma işlemi, tek etkili soğutucu ile elde edilmiştir. Isıtma süreci gereksinimleri bir ısı değiştiricisi ile karşılanmıştır. Bu teorik çalışmada, soğutma çevrimi için lityum bromür-su çözeltisi ve ORÇ sistemi için n-oktan kullanılmıştır. Ayrıca, bu trijenerasyon sisteme ek olarak kojenerasyon ısıtma ve soğutma sistemi için de sadece enerji analizi yapılmıştır. Enerji analizinde, elektrik, ısıtma kojenerasyonu, soğutma kojenerasyonu ve trigeneration enerji verimlilikleri ve ekserji yıkım akımları üzerindeki bazı önemli etkiler, üç mod için araştırılmıştır. Bu seçilmiş önemli parametreler ORÇ pompa giriş sıcaklığı, ORÇ türbin giriş basıncı, ORÇ buharlaştırıcı kenetlenme noktası sıcaklığı olmuştur. 500 kW'lık elektrik üretim kapasitesi, sırasıyla güneş, depolama ve güneş ve depolama modları için %6-7, %3-3,5, %2,5-3 elektriksel enerji verimlilikleri elde edilmiştir. Soğutma kojenerasyonu enerji verimlilikleri, sırasıyla güneş, depolama ve güneş ve depolama modları için %6,1-7,25, %3-3,5, %2,5-3 olarak elde edilmiştir. Isıtma kojenerasyonu enerji verimlilikleri sırasıyla güneş, depolama ve güneş ve depolama modları için %15-19, %7-7,5, %6 ve trijenerasyon enerji verimlilikleri sırasıyla %16,5-20, %7,5-8, %6-6,5 olarak elde edilmiştir. ORÇ türbin giriş basıncının enerji verimlilikleri üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır, çünkü sıcaklıklar neredeyse aynı kalmıştır. Güneş modunda daha yüksek enerji verimliliği, güneş ışınlarının maksimize edilmesinden kaynaklanmıştır. Ayrıca, ısı değiştiricisi kullanılarak ısı geri kazanım sisteminin varlığından dolayı ısıtma kojenerasyonu ve trijenerasyon enerji verimlilikleri diğerlerine göre daha yüksek olmuştur. Güneş kolektörü ve ORÇ buharlaştırıcısı, en yüksek enerji tahrip edici sistem bileşenleri olarak belirlenmiştir.

Karellas ve Braimakis (Karellas and Braimakis, 2016), elektrik üretimi için ORÇ , ısıtma ihtiyaçları için yoğunlaştırıcı ve yaz günlerinde buhar sıkıştırma soğutma çevrimi ile birlikte bir trijenerasyon sistem haline gelen sistem oluşturmuşlardır. Bu teorik çalışmada, R245fa, ORÇ sistemi performans parametreleri açısından en uygun çalışma akışkanı olarak belirlenmiştir. Enerji ve ekserji analizi, ORÇ'nin termal enerji ve ekserji verimliliklerini, soğutma çevriminin COP değerini, birleşik sistem için 50 kW ısı girişi ve 5 kW soğutma yükü koşullarında ısıtma ve elektrik kapasitesini değerlendirerek gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde, ORÇ yoğunlaşma sıcaklığının, buhar sıkıştırma soğutma çevriminin buharlaşma sıcaklığı ve aşırı ısınma sıcaklığının etkisi dikkate alınmıştır. Çalışmaların sonuçlarından elde edilen değerler şu şekilde özetlenmiştir: 1,419 kW elektrik üretim kapasitesi, 53,5 kW ısıtma kapasitesi, 3,88 COP değeri, sırasıyla %5,54 termal verimlilik ve %7 ekserji verimliliği. Ayrıca, parabolik güneş kolektörleri ve biyokütle ısıtma sistemi maliyetinin fiyat etkisini belirlemek için ekonomik bir değerlendirme ve duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizden elde edilen sonuçlar ise şu şekilde ifade edilmiştir: 50.000€'luk toplam yatırım maliyeti, %12 iç karlılık oranı ve 7 yıl geri ödeme süresi.

Ji (Ji, 2018), dizel motorun egzoz gazları, adsorpsiyon soğutucu, sıcak depolama tankı ve bataryalar ile süper kondansatörlerin kullanımıyla bir hibrid enerji depolama sistemi ile entegre ORC sistemi üzerinde çalışmıştır. Bu sistemde güç üretimi ve atık ısının geri kazanımı, ORC sistemi ile dizel motorun egzoz gazlarından elde edilmiştir. Soğutma ve ısıtma ihtiyaçları ise adsorpsiyon soğutucu ve sıcak depolama tankı ile karşılanmıştır. Bu teorik ve deneysel çalışmada ORC çalışma akışkanı olarak R245fa kullanılmıştır ve enerji analizi ile optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, trijenerasyon sistemin termal verimliliğini maksimize etmek için optimum çalışma koşullarını belirlemek olmuştur. Bu analizlerin sonucunda, yaz için 3,695 kW soğutma kapasitesi, kış için 0,383 kW soğutma kapasitesi, yaz için 3,120 kW elektrik üretimi, kış için 2,821 kW elektrik üretimi elde edilmiştir. Ayrıca, yaz için %34,847, kış için %49,913 termal verimlilik elde edilmiştir.

Chang et al. (Chang et al., 2017), güneş enerjisi kaynağı ve proton değişim membranlı yakıt hücresi içeren ORC ve buhar sıkıştırıcı soğutma sistemlerini

içeren bir trijenerasyon sistem üzerinde çalışmışlardır. Bu sistemde güç üretimi, güneş enerjisi kaynağı ve proton değişim membranlı yakıt hücresi ile ORC sistemi tarafından sağlanmıştır. Soğutma ve ısıtma ihtiyaçları ise buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimi ve ısı değiştirici ile karşılanmıştır. ORC ve buhar sıkıştırılmalı soğutma çevrimi için sırasıyla R290 ve 2,3-dimetilpentan kullanılarak gerçekleştirilen bu teorik çalışmada yalnızca enerji analizi yapılmıştır. Bu analiz, akım yoğunluğu, güneş ışıyım yoğunluğu, çevresel sıcaklık ve sistem çalışma sıcaklığı etkileri göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonucunda, sırasıyla 8 kW elektrik üretimi (kış ve yaz), 14,5 kW soğutma ve ısıtma kapasitesi (kış ve yaz) elde edilmiştir. Bu enerji analizi sonucunda kış için %76,87, yaz için %68,75-77,5 termal verim elde edilmiştir. Çalışma sıcaklığı, yakıt hücresi performansı üzerinde trijenerasyon sistem ile karşılaştırıldığında daha etkili bir parametre olmuştur. Güneş ışıyımı, trijenerasyon sistemin verimini doğrudan etkilemiştir. Ancak sınır değerini aşması durumunda, sistem verimliliği kış ve yaz mevsimlerinde lineer olarak azalmıştır. Trijenerasyon sistem verimliliği, çevresel sıcaklığın artmasıyla kış aylarında artmış ve yaz aylarında azalmıştır.

Wang et al. (Wang et al., 2021), Brayton ve süperkritik karbon dioksit çevrimli ORC sistemi, absorpsiyonlu soğutma çevrimi ve ara soğutucu içeren bir trijenerasyon sistemi tasarlamışlardır. Bu sistemde güç üretimi ve atık ısının geri kazanımı, ORC sistemi ile Brayton ve süperkritik karbon dioksit çevriminden elde edilmiştir. Soğutma ve ısıtma ihtiyaçları ise absorpsiyonlu soğutma çevrimi ve ara soğutucu ile karşılanmıştır. Bu teorik çalışmada soğutucu olarak amonyak buharı, ORC çalışma akışkanı olarak ise sırasıyla n-bütan, n-pentan, i-bütan ve i-pentan kullanılmıştır. Enerji ve ekserji analizi ile eksergo-ekonomik optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerle ORC çalışma akışkanlarının ve seçilen amaç fonksiyonlarının trijenerasyon sistem performans parametreleri üzerindeki etkisi değerlendirilmeye çalışılmış ve bu sistemin optimum çalışma noktası belirlenmiştir. Optimal termal verim, ekserji verimi ve maliyet seçilen amaç fonksiyonları olmuştur. Bu çalışmaların sonucunda, 36.02-43,67 MW net güç üretimi, 3,84-6,79 MW soğutma kapasitesi, 9,55-12,66 MW ısıtma kapasitesi, %49,19-63,65 termal verim elde edilmiştir. Aynı zamanda, %43,46-51,94 ekserji verimi, 0,571-0,613 COP değeri, 0,597-0,777 toplam maliyet akımı elde edilmiştir. En yüksek ve en düşük ekserji yıkım akımları, yanma odasında ve absorpsiyonlu

soğutma üniteleri içeren ORC sisteminde meydana gelmiştir. Ortalama maliyet akımının en yüksekten en düşüğe doğru sırasıyla n-pentan, i-bütan, i-pentan ve n-bütan olmuştur. Termal verim ve ekserji verimi için ise sırasıyla n-bütan, i-bütan, n-pentan, i-pentan olmuştur.

Bellos ve ark. (Bellos et al., 2019) tarafından tasarlanan trijenerasyon sistem güç üretimi için güneş çanağı toplama cihazları içeren ORC sistemini, soğutma ve ısıtma ihtiyaçları için bir absorpsiyonlu ısı pompası buharlaştırıcısını ve kondansatörü içermiştir. Bu teorik çalışmada, soğutma çevrimi için lityum bromür-su çözeltisi ve ORC ünitesi için toluen kullanılmıştır. Enerji ve ekserji analizleri, güneş ışınımı dağılımının ve süper ısıtma derecesinin etkisi göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Isıtma kapasitesi 26,25 kW-30,25 kW aralığında , soğutma kapasitesi 4 kW-13 kW, elektrik üretimi 2 kW-5 kW, termal ve ekserji verimliliği sırasıyla %100-%113 ve %20-%24,5 aralığında değişmiştir. Süper ısıtma derecesindeki artış, üretilen elektrik çıktısını ve ekserji verimliliklerini artırırken, termal verimlilik ve üretilen soğutma ve ısıtma çıkışları azaltmıştır, çünkü soğurucu içerisine giren ısı azalmıştır. Güneş ışınımı, trijenerasyon sistem performans parametreleri üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olmuştur. Yıllık performans ve ekonomik değerlendirme, iki farklı konumda gerçekleştirilmiştir. Yıllık ısıtma kapasitesi, Atina ve Belgrad için sırasıyla 32,654 kWh ve 31,473 kWh olmuştur, Soğutma çıktıları sırasıyla 13,768 kWh ve 13,270 kWh olmuştur. Elektrik çıktıları 5,765 kWh ve 5,556 kWh, termal verimlilikler %108,39 ve %111,38, ekserji verimlilikleri ise %20,92 ve %21,50 olmuştur. Amortisman süresi 10,11 yıl ve 10,56 yıl, sermaye maliyeti 46000 Euro olmuştur. Net bugünkü değer 47003 Euro ve 43637 Euro, iç karlılık %10,70 ve %10,20 olmuştur. Atina, daha yüksek elektrik, ısıtma ve soğutma üretimine sahip olurken, Belgrad, daha iyi güneş ışınımı dağılımı nedeniyle daha yüksek termal enerji ve ekserji verimliliklerine sahip olmuştur.

Tian ve ark. (Tian et al., 2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, geliştirdikleri trijenerasyon sistem tanıtılmıştır. Bu sistem, bir ısı geri kazanım buhar jeneratörü, katı oksit yakıt hücresi, yoğunlaştırucu, absorpsiyonlu soğutucu ve karbon dioksit yakalama sistemini içermiştir. Güç üretimi ve atık ısı geri kazanımı, ısı geri kazanım buhar jeneratörü ve katı oksit yakıt hücresi ile elde edilmiştir. Soğutma ve sıcak su ihtiyaçları, yoğunlaştırucu ve absorpsiyonlu soğutucu ile

sağlanmıştır. Karbon dioksit yakalama sistemi, katı oksit yakıt hücresindeki yanma sonucu elde edilen karbon dioksiti yakalamak amacıyla, saf oksijeni yakıt hücresi katot çıkışına alarak çalıştırılmıştır. Bu teorik çalışmada, soğutma ve ORC sistemleri ile yakıt hücresi için sırasıyla amonyak buharı, benzen ve metan kullanılarak enerji ve ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama, parametrik bir çalışma ile yakıt hücresi giriş sıcaklığı, akım yoğunluğu, ORC türbin giriş sıcaklığı ve buhar/karbon oranının etkilerini göz önünde bulundurarak yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, trijenerasyon sistemin termal enerji verimliliği %66-72,23, ekserji verimliliği %56-70, net güç üretimi 250-550 kW, ısıtma kapasitesi 60-60,34 kW olarak elde edilmiştir. Soğutma kapasitesi ise 40-45 kW olarak bulunmuştur. Yakıt hücresi giriş sıcaklığının artması, öncelikle güç üretimini artırırken ardından azaltmıştır. Akım yoğunluğunun artması ise güç üretimini, yakıt akış hızını ve karbon dioksit yakalamayı azaltmıştır. Buna sebep olarak, hücre voltaj çıkışı ve ekserji verimliliği, yakıt akış hızının ve ekserji yıkım akımının azalması nedeniyle azalmıştır. Artan buhar/karbon oranı, hücre voltaj çıkışını azaltırken trijenerasyon sisteme artan atık ısı girişine ve azalan net güç üretimine neden olmuştur. Diğer yandan trijenerasyon sistemin ekserji verimliliğini azaltmıştır.

## 2.4 ASÇ Sistemleri ile İlgili Literatürde Yapılan Çalışmalar

ASÇ sistemleri düşük sıcaklık ve yüksek yoğunluktaki atık ısıyı kullanarak endüstriyel süreçlerin gereksinim duyduğu soğutma yükünü çevre dostu bir şekilde elde etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle, lityum bromür-su çözelti absorpsiyonlu soğutma sistemleri (LiBr-su çevrimi), çevre dostu özellikleri nedeniyle düşük sıcaklıktaki ısı girdisini kullanarak soğutma yükü elde etmede yoğun bir şekilde ilgi çekmektedir (Nikbakhti et al., 2020; Elnagar et al., 2023). Isı kaynağının sıcaklığı 100°C-175°C olduğunda, bu soğutma sistemi Kalina çevrimine göre daha iyi termodinamik performans sergilemektedir (Wang et al., 2018b). LiBr-su çevrimi üzerine yapılan araştırmalar ve ORÇ sistemlerinin entegrasyonu nispeten olgunlaşmış durumdadır. Son yıllarda, farklı alt sistemleri birleştirerek yeni karmaşık enerji geri kazanım proseslerine yönelik önemli çalışmalar ilgi görmektedir. Razmi ve arkadaşları tarafından sunulan entegre



sistemde (Razmi et al., 2019), ORÇ, basınçlı hava enerji depolama ve absorpsiyonlu soğutma sistemleriyle 2280 kW elektrik enerjisi ve 416,7 kW soğutma yükü üretilmiştir. Bu sistem, yalnızca basınçlı hava enerjisinin kullanıldığı sistemle karşılaştırıldığında %15 daha yüksek verimliliğine sahip olmuştur. Başka bir çalışmada (Emadi et al., 2020), katı oksit yakıt hücresi, ORÇ ve LiBr-su çevrimi sistemlerini birleştirerek çift döngülü bir sistem entegre edilmiştir. Bu atık ısı geri dönüşüm sistemi, aynı zamanda 567 kW soğutma yükü sağlarken elektriğin %20,7'sini temin edebilmiştir.

LiBr-su çevrimi genellikle diğer entegre alt sistemlerin daha iyi termodinamik performansı veya daha yüksek soğutma yükü için kullanılmaktadır. Örneğin, soğutma yükünün elde edildiği ortamın sıcaklığı 2°C ile 10°C arasında olduğunda, Yang ve arkadaşları (Yang et al., 2019) transkritik karbon dioksit sistemi ile LiBr-su çevrimini entegre etmişler ve 36,08 kW ile 39,68 kW arasında değişen bir soğutma yükü elde etmişlerdir. LiBr-su çevrimi ve Kalina çevriminin birleştirilmesiyle sistemin soğutma kapasitesinde %45'lik bir artış sağlanmıştır (Liu et al., 2020). Lityum klorür sıvı nem alma sistemi, LiBr-su çevrimi ile entegre edilmiş ve hesaplamalara dayanarak sistem için maksimum performans katsayısı 0,603 olarak belirlenmiştir (Xu et al., 2021). Literatürdeki bu çalışmalar, LiBr-su çevriminin diğer alt sistemlerle entegre edilmesiyle soğutma yükü kapasitesinin önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Ayrıca, çıkış basıncının bu şekilde azaltılmasıyla ORÇ türbininin çıkış basıncının artırılabilceğini gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Mohammadi et al., 2017; Azizi et al., 2023). Örneğin, absorpsiyonlu soğutma sistemi kullanılarak ORÇ sisteminin verimliliğini artırmaya yönelik bir girişimde bulunulmuştur (Navongxay ve Chaiyat, 2019). Bu sistem tasarımı, absorpsiyon ünitesi ORÇ sisteminin yoğunlaştırucusu yerine geçmiş, enerji ve ekserji verimlilik değerleri sırasıyla %20,61 ve %21,54 olmuş ve sistem, herhangi bir iyileştirme yapılmamış duruma göre daha iyi bir termodinamik performans sergilemiştir. Ancak, literatür çalışmaları, ASC sistemleriyle endüstrinin talep ettiği yüksek kapasiteli soğutma gereksinimlerini karşılamak için etkin atık ısı kaynağı sıcaklığının 120 °C ile 175 °C aralığında olması gerektiğini göstermiştir (Wang et al., 2018b; Tiktaş et al., 2023). Bu sıcaklık seviyesindeki atık ısı kaynağına doğrudan erişimin zorluğundan dolayı burada ASC sistemleri farklı güçlü alt sistemlerle entegre edilmiş, bu durum ise yüksek maliyetlere ve karmaşık

sistem tasarımlarına yol açmıştır. Literatürde uzun zamandır var olan bütünleşik ORÇ-ASC sistemleri, eşzamanlı olarak soğutma yükü ve güç üretmeyi amaçlasa da, düşük sıcaklıkta atık ısı kaynakları kullanıldığında yüksek soğutma kapasitelerine ulaşmada sınırlamalar ortaya çıkmaktadır (Razmi et al., 2019; Emadi et al., 2020; Li et al., 2022). Yüksek kapasiteli soğutma yükleri ile birlikte güç üretimi için, literatürde çeşitli alt sistemleri entegre eden karmaşık ve maliyetli sistem tasarımları önemli bir yer tutmaktadır (Mohan et al., 2014; Bowling Green State University-Centrex Central Chiller Plant, 2016; Kumar ve Singh, 2019; Integrated solar heating and cooling unit based on a novel zeolite chiller and heat pump, 2020; Mousavi ve Mehrpooya, 2020; Alsagri et al., 2020; Xue et al., 2021; César et al., 2021; Musharavati et al., 2021; Wang et al., 2021; Tan et al., 2022; Singh et al., 2022; Abed et al., 2022; Chakravarty et al., 2022; Schüppler et al., 2022; Bisulandu et al., 2023; Zhou et al., 2023; Caliskan et al., 2023; Chilled Water Plant Assessment & Criteria Design Cleveland Airport System, 2023).

Mohan ve ark. (Mohan et al., 2014), gaz türbini, buharlı Rankine çevrimi ve hava boşluklu membran distilasyon sistemlerini içeren bir trijenerasyon sistem geliştirmişlerdir. Bu sistem tasarımıyla gaz türbini bacalarındaki atık ısıyı kullanarak elektrik, temiz su ve soğutma yükü üretimi amaçlanmıştır. Bu sistem için %82-%85'lik enerji verimliliği ve 0,69-0,75'lik COP değerleri elde edilmiş olup 34 MW elektrik, 358 kg/s temiz su ve 4621 kW soğutma yükü üretimi için toplam sistem yatırım maliyeti 11 milyon dolar olarak belirlenmiştir. Kumar ve Singh (Kumar ve Singh, 2019), ORÇ, gaz türbini, katı oksitli yakıt hücresi ve absorpsiyonlu soğutma sistemlerinden oluşan bir kojenerasyon sistem tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Bu sistem için enerji verimliliği %60-%73,8, iş çıktısı 1095-1470 kJ/kg ve soğutma yükü 14-23 ton olarak elde edilmiş olup birim güç maliyeti 1939,93 ABD Doları/kW olarak belirlenmiştir. Wang ve diğerleri (Wang et al., 2021), ORÇ, Brayton, süperkritik  $CO_2$ , absorpsiyonlu soğutma ve arasoğutucu sistemlerinden oluşan bir trijenerasyon sistem oluşturmuşlardır. Bu sistemden 36,02-43,67 MW net güç, 3,84-6,79 MW soğutma ve 9,55-12,66 MW ısıtma çıktıları elde edilmiş olup toplam maliyet akımları 0,597-0,777, enerji verimliliği %49,19-63,65, ekserji verimliliği %43,46-51,94 ve COP değerleri 0,571-0,613 olarak belirlenmiştir. Schüppler ve diğerleri (Schüppler et al., 2022), dünya genelinde yüksek soğutma yükü gereksinimlerini içeren başlıca yapılardan biri olan



üniversiteler için soğutma tedarik maliyetlerini incelemişler ve bu konuda genel bakış sunmuşlardır. Bu çalışmada yalnızca soğutma ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla geliştirilen sistemlerin başlangıç yatırım maliyetinin 4,5-7 milyon ABD Doları aralığında olduğunu ve bu sistemlerin yıllık maliyetinin 4-7 milyon Euro arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen veriler, Bowling Green State Üniversitesi merkezi soğutma (Bowling Green State University-Centrex Central Chiller Plant, 2016), Cleveland Hopkins Uluslararası Havaalanı soğutma suyu (Chilled Water Plant Assessment & Criteria Design Cleveland Airport System, 2023) ve ZEOSOL entegre güneş ısıtma ve soğutma tesisleri (Integrated solar heating and cooling unit based on a novel zeolite chiller and heat pump, 2020) raporlarında belirtilen verilerle uyumlu olmuştur.

Literatürde ASÇ sistemleri içerisinde en basit sistem tasarımına sahip olarak görülen tek kademeli ASÇ sistemini içeren entegre sistemlerde COP değerinin genellikle birin altında olduğu görülmektedir. Bu durum, istenilen soğutma yükünü elde edebilmek için pompalama gücünün yanı sıra ASÇ sistemi kaynatıcısının ısı gereksinimi ihtiyaçlarının karşılanması gerekliliğinden dolayı ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, daha düşük seviyeli atık ısı kaynaklarını (70 °C-90 °C) kullanan entegre tek kademeli ASÇ sistemleri aracılığıyla yüksek soğutma yüklerini etkili bir şekilde elde etmek ve sistemin ekonomik uygunluğu ile COP değerlerini artırmak konusunda literatürde belirgin bir boşluk bulunmaktadır.

## 2.5 AIY Sistemleri ile İlgili Literatürde Yapılan Çalışmalar

Genel olarak, AIY çevrimi, enerji geri kazanımı ve/veya sıcaklık artırma uygulamaları için 21. Yüzyılın en önemli teknolojilerinden biri olarak kabul edilmektedir (Horuz and Kurt, 2010; Donnellan et al., 2014; Ma et al., 2021). Bu teknoloji ile düşük sıcaklık seviyeli atık ısıyı kaynatıcıya göndermek suretiyle absorpsiyon işlemleri sonucunda soğurucuda yüksek sıcaklık seviyeli enerji çıktısı elde edilir (Wakim and Rivera-Tinoco, 2019). AIY'nin çevre dostu ve mükemmel enerji geri kazanım özellikleri, araştırmacıların bu teknolojiye yoğun ilgi göstermelerini açıklamaktadır. Liu ve diğerleri (Liu et al., 2017), oran yöntemini uygulayarak tek kademeli bir AIY sistemi ile güneş enerjisi kaynağının kombinasyonu için optimal tasarım koşullarını tahmin etmişlerdir. Bu koşullar için

günde 1318 kWh ısı çıktısı gözlemlemişlerdir. Yari ve diğerleri (Yari et al., 2017), çift kademeli bir AIY sisteminin kullanımıyla maksimum sıcaklık artışını %18-27 oranında artırmışlardır. Wang ve diğerleri (Wang et al., 2018a), karbon dioksit yakalama işlemi için geliştirilen çift AHT sistemini kullanarak, toplam üretim maliyetini ton başına 10.7 ABD Doları azaltmışlar ve sistemin ekserji verimliliğini %1,85 oranında artırmışlardır. Mosaffa ve Farshi (Mosaffa ve Farshi, 2020), karbon dioksit güç çevrimi için çift etkili AIY sistemini kullanarak sistemin ekserji verimliliğini artırmak adına karbon dioksiti kaynatıcıya girmeden önce ön ısıtma işlemine tabi tutmuşlardır.

Literatürde, ORÇ sistemindeki ısı kaynağının sıcaklığını AIY entegrasi ile yükselterek elektrik üretme fikri ilk kez Chaayat tarafından tanıtılmıştır (Chaayat, 2014). Bu çalışmada, ORÇ sistemi tarafından 20 kW elektrik üretmek için 90°C-110 °C sıcaklık aralığındaki final sıcaklığına ulaşan 250 kW'lık AIY sistemi kullanılmıştır. Bu çalışmanın Tayland örneği için ekonomik değerlendirmelerinden elde edilen verilere göre, elektrik maliyeti yılda 5945,82 ABD Doları ve geri ödeme süresi ise 15,96 yıl olarak belirlenmiştir. Bu entegrasyon, üretilen elektrik gücü başına nispeten yüksek AIY sistem maliyeti nedeniyle enerji verimliliği açısından uygun ancak maliyetli bir seçenek olmuştur. Bu durum, araştırmacıları bu konuda yeterince derinlemesine incelemekten alıkoymuş ve absorpsiyon etkisi genellikle soğutma sistemlerinde test edilmiştir. Bu durum ORÇ ve AIY gibi iki avantajlı sistemin birbiriyle entegrasyonuna dayalı olarak yüksek kapasiteli elektrik üretiminin ekonomik bir yolla elde edilmesi konusunda literatürde önemli bir boşluk oluşturmaktadır.

## 2.6 Güneş Enerjisi Destekli Elektrik Üretimiyle İlgili Çalışmalar

ORÇ teknolojisi ile elektrik üretimi için güneş enerjisi entegrasyonu, bu uygulamada düşük sıcaklık seviyesindeki ısı kaynağına ihtiyaç duyulmasından dolayı geniş bir şekilde kullanılmaktadır (Karabuga et al., 2023; Li et al., 2023). Bununla birlikte, bu entegrasyonda genellikle konsantre güneş enerjisi teknolojisi (CSP), sürdürülebilir çözümlerin sağlanmasıyla yüksek enerji verimliliği nedeniyle tercih edilmektedir (Chuquin-Vasco et al., 2023; Pop et al., 2023). Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) veritabanı, CSP teknolojisinde parabolik

oluklu kolektörlerin tüm kurulumlar içinde %80'den daha büyük bir payla en çok kullanılan toplayıcı grubu olduğunu göstermektedir. Güneş enerjisi ve ORÇ çevrimlerinin entegrasyonu için başka güçlü bir alternatif güneş kolektörü, Fresnel güneş toplayıcılarıdır (Sigue et al., 2023; Machado et al., 2023; Kumar, 2023).

## **2.7 Enerji Sistemlerine Uygulanan Enerji ve Ekserji Analizleri ve Optimizasyon Yöntemleri**

### **2.7.1 Enerji Analizleri**

Enerji analizi, termodinamiğin birinci yasasına dayalı olarak hem her sistem bileşeni hem de tüm sistem için birleşik kütle ve enerji denklemlerinin uygulanmasını içerir. Bu denklem sistemlerinin çözümü, bazı kabul edilebilir varsayımlar ve sistem giriş parametreleri ile enerjistik olarak karakteristik sistem performans parametrelerinin elde edilmesini sağlar. İlk yasa verimliliği, bunun için ödenmesi gereken değer kullanışlı çıktıya olan oranı olarak tanımlanabilen en önemli enerjistik performans parametrelerinden biridir. Bu parametre yalnızca enerjinin nicel değerine odaklanır ve her sistem bileşeni ve bütün sistem için bunun üzerinden etkinlik tanımlanır. Ancak, enerji analizindeki en son trend, enerji verimsizliğinin olduğu bileşen/bileşenleri belirlemek için bu parametreyi Sankey enerji akış diyagramlarıyla birlikte değerlendirmektir. Sankey enerji akış diyagramlarında, sistemin her bileşeni için nicel enerji girişi, çıkışı ve kayıpları akış yönü boyunca gösterilir (Soundararajan et al., 2014; Davis et al., 2018; Wang et al., 2021). Ancak, geniş bir perspektiften bakıldığında, enerji analizi enerjinin nicel değerini düşünerek oldukça sınırlı bir perspektiften sistem performansı değerlendirmesi sağlar. Bu noktada, enerji girişi ve çıkışının kalitesi, enerji girişi ve çıkışlarıyla elde edilebilecek maksimum kullanışlı iş çıktısı gibi daha detaylı bilgilere ihtiyaç duyulduğu açıktır. Bu, sistem performansındaki iyileştirme potansiyelini anlamak için yalnızca enerji analizi ile elde edilemez. İşte bu noktada, ekserji analizi, bu talebi karşılamak için etkili bir araç olarak ortaya çıkmaktadır.

### 2.7.2 Ekserji Analizleri

Ekserji analizi, adından da anlaşılacağı gibi, termodinamiğin ikinci yasası kapsamında enerjinin kalitesini değerlendirmek için "ekserji" kavramını tanımlar. Ekserji, söz konusu enerji girişleri ve çıkışlarıyla sistemde ideal olarak üretilebilecek maksimum iş olarak tanımlanabilir. Aslında, bu basit tanım ekserji ve enerji analizi arasındaki belirleyici farkı ortaya koymaktadır. Ekserji analizinde, ideal durumda elde edilebilecek maksimum iş çıktısı belirlenir. Bu nedenle, daha gerçekçi sistem iyileştirmeleri, gerçek durumu ideal duruma yaklaştırmak için sınır durum göz önüne alınarak gerçekleştirilir. Enerji analizinde böyle bir sınır durum belirlenemez. Bu nedenle, atık ısı geri kazanım mekanizması detaylarını keşfetmek ve sistemin maksimum elde edilebilir performans iyileştirmesini belirlemek için sisteme ekserji analizi uygulamak kaçınılmazdır. Ayrıca, ekserji analizi ekonomik ve çevresel değerlendirmeler için kilit bir bileşen oluşturur.

Ekserji analizi için geliştirilen metodolojileri geçmişten günümüze şu sırayla sıralamak mümkündür: geleneksel (Yang et al., 2013), ileri (Kelly, 2008; Morosuk and Tsatsaronis, 2008; Kelly et al., 2009; He et al., 2018; Liao et al., 2020), genişletilmiş (Sciubba, 2001; Szargut, 2005; Belli and Sciubba, 2007; Dai et al., 2012; Yang and Chen, 2014; Rocco et al., 2014; Moradi et al., 2020; Amiri et al., 2020) ve bütünleşik genişletilmiş-ileri ekserji analizleri (Song et al., 2019). Geleneksel ekserji analizi en basit metodolojiyi sağlamaktadır. Sistemin her bileşeni üzerinde ekserji yıkım akımını, exergy girdilerini, çıktılarını, yakıt ve ürün akımlarını, ve nihayetinde ekserji verimliliği belirlenmektedir. Ancak, sistemin bileşenlerinin birbirleriyle etkileşimleri bu analizde dikkate alınmamaktadır. Aslında, bu durum, sistem performansındaki olası iyileştirmeler ve optimal bileşen ve sistem tasarımı konusunda gerçekçi bir farkındalığın olması açısından kritiktir. Genişletilmiş ekserji analizi, ekonomik ve çevresel değerlendirmelere dayalı olarak ömür çevrimi incelemelerine odaklanarak geleneksel ekserji analizine katkı sağlamaktadır. İleri ekserji analizi, her bir bileşendeki exergy yıkım faaliyetlerini daha geniş bir perspektiften incelemektedir. Ayrıca, bu analizde geleneksel ve genişletilmiş ekserji analizi yöntemlerinden farklı olarak beş ayrı kategoride bileşen incelemesi yapılmaktadır. Bu bileşenler, dışsal, içsel, kaçınılabilir, kaçınılamaz ve birleşik ekserji yıkım akımlarıdır. Dışsal, içsel, ve birleşik ekserji yıkım

faaliyetlerinin kaynağı sırasıyla incelenen bileşenin çalışma koşulları, sistemin diğer bileşenleriyle etkileşimleri ve sistemdeki tüm bileşenlerin senkron etkileşimleridir. Bileşenlerdeki kaçınılmaz ekserji yıkım faaliyetleri, bazı termodinamik, ekonomik ve teknolojik kısıtlamalardan dolayı herhangi bir şekilde müdahale edilemeyen aktivitelerdir. Kaçınılabılır ekserji yıkım faaliyetleri, bileşenlerdeki ekserji yıkımının ne kadarının enerji tasarrufu ve atık ısı geri kazanım mekanizmaları aracılığıyla faydalı ekserji çıktısına dönüştürülebileceğini belirtir. Başka bir deyişle, kaçınılabılır ekserji yıkımı, her bir bileşenin ve bütün sistem performans iyileştirmelerinin sınırını belirlemektedir. Bu nedenle, bu ileri ekserji analizinin güçlü yanı, sistem performans iyileştirmeleri için kaçınılabılır ekserji yıkım terimi aracılığıyla sınır bir değeri ifade ederek sistemle ilgili ayrıntılı ve önemli bilgiler sunmasıdır.

### 2.7.3 Optimizasyon Yöntemleri

Enerji ve ekserji analizleri temelinde belirlenen kısıtlamalara dayanan optimizasyon süreci, sistemlerin farklı istenen koşulları sağlayacak uygun çalışma sınırlarını ve iş akışkanını belirlemede önemli hale gelmektedir. Bu süreç, sistem sınırlarının tanımlanması, amaç fonksiyonları, sistem kriterleri, karar değişkenleri, kısıtlamaların belirlenmesi ve uygun optimizasyon tekniklerinin uygulanmasını içermektedir. Genellikle enerji sistemlerinin optimizasyonu için amaç fonksiyonlarının seçiminde sistemin enerji ve ekserji verimlilikleri, çevresel etki ve ekonomik değerlendirmeler göz önüne alınır. Bu nedenle, enerji ve ekserji analizleri ile sistem optimizasyonu arasında oldukça yakın bir ilişki bulunmaktadır.

Enerji sistemlerine uygulanan optimizasyon yöntemleri tek amaçlı optimizasyon, çok amaçlı optimizasyon ve parametrik optimizasyon olmak üzere üç ayrı bölümde incelenebilir:

Parametrik optimizasyon, optimizasyon modelinde değerlendirilmesi gereken giriş parametrelerini tahmin etmede kilit rol oynamaktadır. Bu optimizasyonla belirtilen parametre sınırları içerisinde, parametrelerin değerindeki değişimlerinin amaç fonksiyonunu nasıl etkilediğini ortaya konulmaktadır. Giriş parametrelerinin monoton değişimi için, regresyon tabanlı tekniklerin uygulanması son derece

yaygın bir durumdur. Ancak, monotonik olmayan bir davranış durumunda, Varyans Analizi (ANOVA) yöntemleri, her bir parametrenin sonuca olan etkisine bakmak ve sonuç üzerindeki toplam net ortalama değişimi değerlendirmek için kullanılmaktadır (Saltelli and Sobol', 1995; Iooss and Lemaître, 2015). Bununla birlikte, son zamanlarda çıktının girdilere olan koşullu dağılımından farklı olarak önemli olan parametrenin daha kesin ve uygun bir tahminini elde etmek için, çekirdek tabanlı ve  $\delta$ -duyarlılık yaklaşımları gibi yeni yaklaşımlar ve indeksler geliştirilmiştir (Gamboa et al., 2014; Ijaz et al., 2018; Saltelli et al., 2018).

Tek amaçlı optimizasyon sürecinde, doğrudan ve gradyan tabanlı yöntemler kullanılmaktadır. Eğer kısıtlanmamış ve tek değişkenli bir optimizasyon problemi ele alınıyorsa, Newton (Burke and Ferris, 1995; Lee et al., 2012), yarı-Newton (Gill and Murray, 1972; Byrd et al., 2016) ve Newton yönteminin sonlu fark yaklaşımları kolayca ve etkili bir şekilde uygulanabilmektedir. Ancak değişken sayısı birden fazlaysa, tarama ve basamaklama prosedürlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu prosedürler için yaygın olarak kullanılan yöntemler arasında altın bölüm (Koupaei et al., 2016; Wang and Wang, 2016), rastgele (Alrefaei and Andradottir, 1997; Andradóttir, 2016), grid (Xiao et al., 2015; Syarif et al., 2016), tek değişken (Al-Saleh and Mir, 1999; Yoo, 2019) ve simplex arama yöntemleri (Mehta and Dasgupta, 2012; Fan et al., 2014), doğrudan uygulamalar için ise bütünleşik arama yönü yöntemleri (Narushima and Yabe, 2012; Keshtegar et al., 2020) bulunmaktadır.

Aşağıdaki denklemler/algoritmalar, tartışılan kısıtlamasız tek amaçlı optimizasyon yöntemlerini açıklamak için gösterilmiştir:

- Newton yöntemi (Burke and Ferris, 1995; Lee et al., 2012):

$$x^{k+1} = x^k - \frac{f'(x^k)f'(x^k)}{f''(x^k)f''(x^k)} \quad (9)$$

- Quasi-Newton yöntemi (Gill and Murray, 1972; Byrd et al., 2016):

$$x = x^q -$$

$$\frac{f'(x^q)f'(x^p)}{\frac{[f'(x^q)-f'(x^p)]f'(x^q)-f'(x^p)f'(x^q)-f'(x^p)f'(x^q)-f'(x^p)}{(x^q-x^p)}} \frac{f'(x^q)f'(x^p)}{[f'(x^q)-f'(x^p)]f'(x^q)-f'(x^p)f'(x^q)-f'(x^p)f'(x^q)-f'(x^p)} \frac{f'(x^q)f'(x^p)}{(x^q-x^p)} \quad (10a)$$

$$m = \frac{f'(x^q) - f'(x^p)f'(x^q) - f'(x^p)}{x^q - x^p} \quad (10b)$$

- Newton yönteminin sonlu farklar yaklaşımı:

$$x^{k+1} = x^k - \frac{\frac{[f(x+t)-f(x-t)]}{2t} [f(x+t)-f(x-t)]/2t}{\frac{[f(x+t)-2f(x)+f(x-t)]}{t^2} [f(x+t)-2f(x)+f(x-t)]/t^2} \quad (11)$$

- Tarama ve basamaklama yöntemi:

$$x^{k+1} = x^k + \epsilon 2^{k-1} \quad (12)$$

- Altın bölüm arama yöntemi (Koupaei et al.,2016; Wang and Wang, 2016):

a.  $f(x)$  fonksiyonunun maksimum noktalarını as  $x_l$  and  $x_u$  olarak belirleyin.

b. Ara noktalar olan  $x_1$  and  $x_2$ 'yi belirleyin.

$$x_1 = x_l + \left[ \frac{\sqrt{5}-1}{2} (x_u - x_l) \right] \quad (13a)$$

$$x_2 = x_u - \left[ \frac{\sqrt{5}-1}{2} (x_u - x_l) \right] \quad (13b)$$

c.  $f(x_1)$  ve  $f(x_2)$ 'yi değerlendirin. Eğer  $(x_1) > f(x_2)$  ise yeni  $x_1, x_2, x_l, x_u$  noktalarını belirleyin.

$$x_l = x_2 \quad (13c)$$

$$x_2 = x_1 \quad (13d)$$

$$x_u = x_u \quad (13e)$$

$$x_1 = x_l + \left[ \frac{\sqrt{5}-1}{2} (x_u - x_l) \right] \quad (13f)$$

Eğer  $f(x_1) < f(x_2)$  ise yeni  $x_1, x_2, x_l, x_u$  noktalarını belirleyin.

$$x_l = x_l \quad (13g)$$

$$x_u = x_1 \quad (13h)$$

$$x_1 = x_2 \quad (13i)$$

$$x_2 = -\left[\frac{\sqrt{5}-1}{2}(x_u - x_l)\right] \quad (13j)$$

d. Eğer  $x_u - x_l < \epsilon$  (kabul edilebilir tolerans), iterasyonu durdurun.

- Rastgele arama yöntemi (Alrefaei and Andradottir, 1997; Andradóttir, 2016):
  - a. Başlangıç vektörü  $x^0$ 'ı seçin ve  $f(x^0)$ 'ı inceleyin.
  - b. Rastgele başka bir  $x^1$  vektörü seçin ve  $f(x^1)$ 'i inceleyin.
  - c. Eş zamanlı olarak adım uzunluğunu ve arama yönünü belirleyin.
  - d. Iterasyonel süreci uygulayın ve  $f(x^k)$ 'yi  $f(x)$ 'in önceki optimum değeriyle karşılaştırın.
  - e. d adımındaki sonuca göre iterasyonel sürece devam edilip edilmeyeceğine karar verin.
- Grid arama yöntemi (Xiao et al. 2015; Syarif et al., 2016):
  - a. Tasarım türünü seçin (üç seviyeli faktöriyel tasarım, heksagon tasarım vb.).
  - b. Referans bir nokta seçin ve bu nokta etrafında fonksiyonun diğer noktalardaki değerlerini inceleyin.
- Tek değişken arama yöntemi (Al-Saleh and Mir, 1999; Yoo, 2019):
  - a. Optimizasyon süreci için sabit arama yönlerini belirleyin.
  - b. Tüm arama yönleri için bir boyutlu arama kurallarını uygulayın.
- En dik iniş yöntemi (Narushima and Yabe, 2012; Keshtegar et al., 2020):

$$x^{k+1} = x^k - \alpha^k s^k \quad (14a)$$

$$s^k = -\nabla f(x^k) \quad (14b)$$



Burada,  $f, x^{k+1}, x^k, x, x^q, x^p, m, t, \epsilon, \nabla f, \alpha^k$  ve  $s^k$  sırasıyla amaç fonksiyonu, yeni ve eski iterasyonel optimum çözümler, yaklaşık çözüm, Quasi-Newton yöntemi için belirlenen ve hesaplanan noktalar,  $x^q$  ve  $x^p$  arasındaki doğrunun eğimi, sonlu fark yaklaşımı için ayırıklaştırma boyutu, tarama ve basamaklama yöntemi için arama uzunluğu, amaç fonksiyonunun gradyanı, adım uzunluğu ve en dik iniş yöntemi için arama yönü olarak ifade edilmiştir. Eğer optimizasyon probleminin yapısı kısıtlıysa, sürekli lineer programlama için (Rosen et al.,1991; Andersen and Andersen,1995) geometrik (Hinker and Hansen, 2002; Hao et al.,2011) ve simplex yöntemleri iki veya daha fazla parametre varsa sırasıyla kullanılmaktadır. Lineer olmayan programlama için en yaygın kullanılan yöntemler Lagrange çarpanları (Kannan and Kramer, 1993; Sharma and Glemmestad, 2013) ve genelleştirilmiş azaltılmış gradyan yöntemleri (Lasdon et al., 1978; Bertsimas and Stellato, 2019)'dir. Bir sistem tasarımında, bir ekipmanın bu sisteme yerleştirilip yerleştirilmeyeceğine karar verilmek istendiği durum için ise karışık tamsayılı optimizasyon problemi ile karşılaşmaktadır (Muñoz and Stolpe, 2011; Bertsimas and Georghiou, 2018). Bu tür bir optimizasyon problemi, ekipmanın sistem içerisindeki varlığına göre tamsayılar sıfır ve bir değerlerini almakta ve deterministik (genelleştirilmiş bükücülerin dış yaklaşımı (Bandyopadhyay et al., 2008)) ve stokastik yöntemler (simüle edilmiş tavlama (Marinakakis and Marinaki, 2010; Mafarja and Mirjalili, 2017 ), genetik algoritmalar (Liang and Wang, 2020; You et al., 2020)) ele alınmaktadır.

- Geometrik yöntem algoritması (Hinker and Hansen, 2002; Hao et al.,2011):
  - a. Uygulanabilir çözüm alanını belirle.
  - b. Çözüm alanındaki uygun noktaları değerlendirerek optimum çözümü belirle.
- Simplex yöntem algoritması:
  - a. Doğrusal programlama optimizasyon probleminin standart formunu oluşturun.
  - b. Artık değişkenleri belirleyin
  - c. Simplex tablosunu doldurun.
  - d. c adımıdaki Simplex tablosundan uygun başlangıç çözümünü oluşturun.
  - e. Uygunluk ve optimumluk testlerini uygulayın ve pivot değişkenini belirleyin.

f. Pivot değişkenine göre, gerekli matris işlemleriyle yeni simplex tablosunu oluşturun.

g. Yeni simplex tablosuna göre çözümü gözden geçirin.

- Lagrange çarpanları yöntemi algoritması (Kannan and Kramer, 1993; Sharma and Glemmestad, 2013):

a. Amaç fonksiyonu formülasyonu ile Lagrange fonksiyonunu tanımlayın:

$$L(x, \lambda) = f(x) + \lambda h(x)$$

b. Verilen uygunluk ve eniyilik gereksinimlerinin uygulanmasıyla çözümü elde edin:

$$\nabla_x L(x^*, \lambda^*) = 0 \quad (15a)$$

$$H(x^*) = 0 \quad (15b)$$

- Simule edilmiş tavlama yöntemi algoritması (Marinakis and Marinaki, 2010; Mafarja and Mirjalili, 2017 ):

a. Çözüm alanındaki değerlendirme parametresinin başlangıç dağılımını rastgele tahmin edin

b. Başlangıç dağılımının pertürbasyonunu uygulamak için belirli bir hareket tanımlayın.

c. Harekete bağlı olarak dağılımın değişimini hesaplayın.

d. Skoru kullanarak hareketi değerlendirin ve bu hareketi kabul edin veya reddedin.

e. d adımına göre güncellemeye devam etmeye mi yoksa prosedürü tekrarlamaya mı karar vereceğinizi belirleyin.

Bu durumda  $L$ ,  $\lambda^*$ ,  $x^*$  ve  $\nabla h$  sırasıyla Lagrange fonksiyonu, Lagrange çarpanı, optimal çözüm ve teğet çözüm düzlemine dik olan arama yönünü ifade etmektedir. Çok amaçlı bir optimizasyon sürecinde, tek amaçlı optimizasyon sürecinin aksine çelişen amaç fonksiyonlarını içeren bir çözüm kümesi bulunur. Burada optimal çözüm kümesi, tüm olası uygun uzayın domine edilmeyen kümesini kapsayan bir Pareto-optimal sınır ile belirlenir. Bu optimizasyon sürecini yönetmek için geleneksel teknikler arasında ağırlıklı toplam (Kaddani et al., 2017; You et al., 2020),  $\epsilon$ -Kısıtlama (Aghaei et al., 2011; Javadi et al., 2020), ağırlıklı metrik yöntemler (Holzmann and Smith, 2018) bulunmaktadır. Ancak genetik ve evrimsel

algoritmalar, bu geleneksel yöntemlerden farklı olarak bir çözüm aday kümesini düşünerek geliştirilmiştir. Bu geleneksel yöntemlerin üstünde, elitizm (elit olmayan sıralı genetik algoritma (Furtuna et al., 2011; Kumar and Guria, 2017; ), güçlü Pareto genetik algoritma (Elhossini et al., 2010), Pareto arşivli evrimsel algoritma (Mu et al., 2003), uzaklık tabanlı Pareto genetik algoritma (Singh et al., 2008; Chen et al., 2020)) ve elitizm olmama (elit olmayan sıralı genetik algoritma (Fu and Liu, 2019; Subramanian et al., 2021), çeşitlenmiş Pareto genetik algoritma (Horn et al., 1899), çok amaçlı genetik algoritma (Zolpakar et al., 2020), rastgele ağırlıklı genetik algoritma (Gaber et al., 2010), vektör optimize edilmiş evrimsel algoritma (Cheng et al., 2016; Ijaz et al., 2018)) temellidir. Rudolph (Fu and Liu, 2019), çoğu amaç fonksiyonunun elitizme dayalı olarak 1996'da daha kolay bir şekilde küresel optimum çözüme yaklaştırmaya çalıştığını doğrulamış ve çalışmalar bu algoritma tabanına kaymıştır. Bu yöntemlerden biri elitizme dayalı olan baskın olmayan sıralama genetik algoritmasıdır (NSGA-II). Bu yöntem, elitlik ve çeşitliliği koruma prosedürlerine dayanmaktadır ve bu yöntemin işlemi sırasıyla domine edilmeyen sıralama, kalabalık mesafe tahmini ve elit seçimi olmak üzere üç bölüme ayrılabilir (Huang and Sun, 2009; Li and Zhang, 2009). Bu yöntemin ana algoritması aşağıda gösterilmiştir:

- a. Başlangıçta popülasyon büyüklüğünü, jenerasyon sayısını ve mutasyon ile çaprazlama için ölçek parametresini belirleyin.
- b. İlk domine edilmemiş popülasyon dizisini oluşturun.
- c. İlk domine edilmemiş popülasyon dizisine göre amaç fonksiyonu değerini hesaplayın.
- d. Yavru popülasyonu oluşturmak için cebirsel Gauss mutasyonunu ve çaprazlamayı uygulayın.
- e. Jenerasyonu başlatın.
- f. Elitizmi korumak için çocuk ve ebeveyn nüfusunu birleştirin.
- g. Hızlı sıralama algoritmasını kullanarak domine edilmemiş sınırları belirleyin.
- h. Tüm sınırlar için sıralı çözüm kalabalıklık mesafesini belirleyin.
- i. Turnuva seçim süreci ile bir sonraki neslin ebeveyn nüfusunu oluşturun.
- j. Mutan ve çaprazlama ile bir sonraki neslin yavru nüfusunu oluşturun.

k. Maksimum nesil sayısına ulaşana kadar önceki aşamaların tekrarıyla yeni nesiller oluşturmayı sürdürün.

### **3. GELİŞTİRİLEN ÖZGÜN SİSTEM TASARIMLARI VE ANALİZLER**

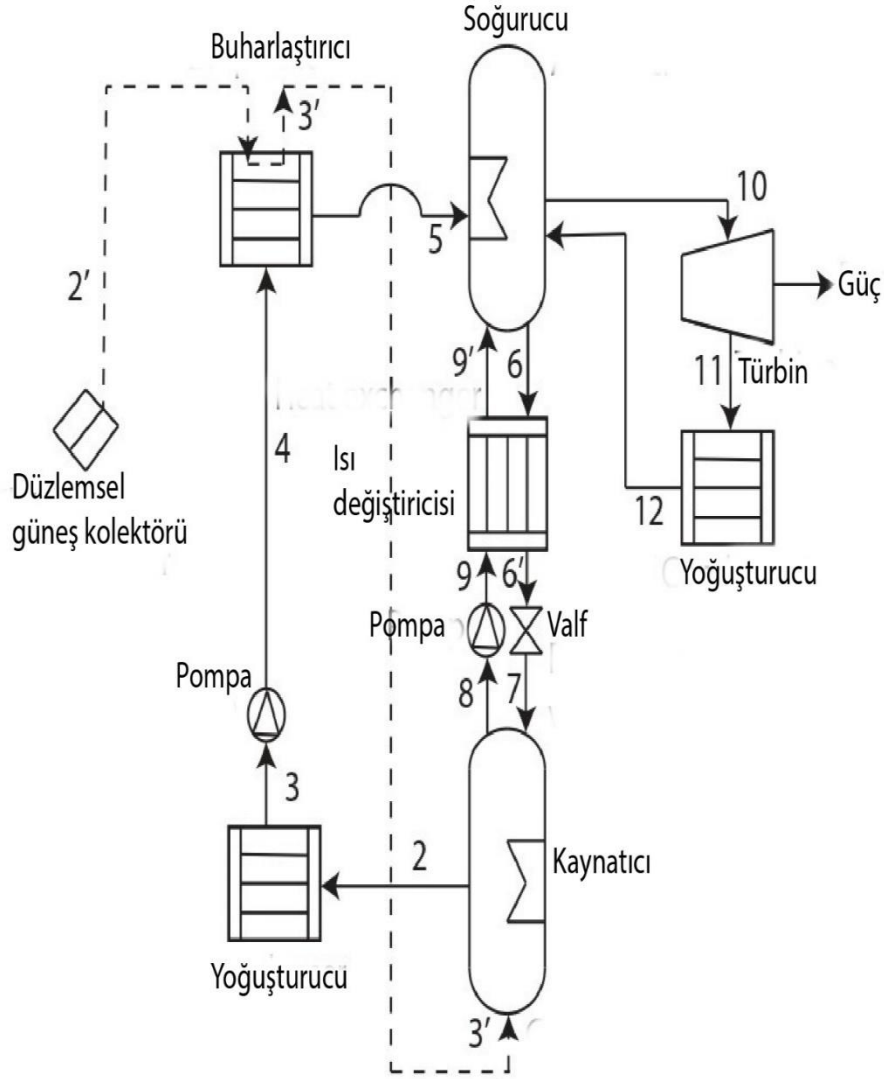
#### **3.1. Güneş Enerjisi Destekli Daha Ekonomik Yollu Elektrik Üretimi**

##### **3.1.1 Önerilen Sistemin Tanıtımı**

Bu tez çalışması kapsamında, güneş enerjisi destekli ORÇ sistem ile elektrik üretimi için literatürde yaygın olarak kullanılan yüksek maliyetli yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinden farklı olarak elektrik üretiminin daha ekonomik bir yolla gerçekleştirilebileceği özgün bir sistem tasarımı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu özgün sistem tasarımı literatürdeki DGK ve ORÇ sistemleri entegrasyonu yoluyla elektrik üretimi konusundaki boşluğu kapatmak için geliştirilmiştir. Bu kapsamda, LiBr-su çözelti AIY, ORÇ ve DGK entegrasyonunu içeren özgün bir elektrik üretim sistemi literatüre önerilmiştir. Önerilen bu özgün sisteme ait şematik diyagram Şekil 11’de gösterilmiştir. Bu sistemde ORÇ sistem bileşeni için adaylar toluen, izopentan, R600, R123 ve R245fa olmak üzere beş farklı ORÇ iş akışkanı değerlendirilmiştir. AIT sistemi için LiBr-H<sub>2</sub>O çözeltisi kullanılan bu sistemle ORÇ türbininden net 1000 kW’lık mekanik güç üretimi hedeflenmiştir. Bu konfigürasyonda, AIY sistemi içerisindeki kaynatıcı ve buharlaştırıcıyı çalıştırmak için gerekli ısı sistem maliyetlerini düşürmek için 80°C sıcaklık seviyesine ulaşan DGK sisteminden sağlanmıştır. Bu nedenle kaynatıcı ve buharlaştırıcı sıcaklık değerleri 80°C olarak alınmıştır. AIY sistemindeki soğurucu ve yoğunlaştırıcı ve ORÇ sistemdeki türbin giriş sıcaklıkları sırasıyla 150°C, 40°C, ve 145 °C olarak parametrik bir çalışma sonucunda belirlenmiştir. Bu parametrik çalışmada ORÇ sistemin enerji verimliliğinin klasik fotovoltaiik sistem ile elde edilen 0,17-0,19 aralığından daha yüksek olması amaçlanmıştır. Bu yaklaşımla, Saguaro ORÇ güç santrali gibi karşılaştırılabilir bir güç santrali oluşturmak amaçlanmıştır. Parabolik veya Fresnel güneş kolektörü gibi yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerini kullanan mevcut küçük-orta ölçekli güneş enerjisi santrallerinde elektrik üretimi

nispeten yüksek maliyetle sağlanmaktadır. Bu önerilen sistemle, mevcut santrallerin aksine AIY, ORÇ ve DGK entegrasyonu yoluyla daha ekonomik bir yolla daha güçlü elektrik çıktılarının üretilmesi amaçlanmıştır.





Şekil 11. DGK, ORÇ ve AIY sistemleri entegrasyonu yoluyla elektrik üretimi için önerilen özgün sisteme ait şematik diyagram.

### 3.1.2 Önerilen Sistemdeki Prosesin Tanıtımı

Kaynatıcının (Gen) içerisinde bulunan LiBr-su çözeltisinin içerisindeki suyun büyük bir bölümü buharlaştırılır ve 2 numaralı akım ile yoğunlaştırucuya (ABScon) gönderilir. ABScon'da 3 numaralı akımda tamamen doymuş sıvı formu elde edilir ve AIY çevriminde yer alan pompa (P1) ile 4 numaralı akım vasıtasıyla buharlaştırıcıya (EV) pompalanır. EV'nin yüksek basınç bölgesinde buharlaşma gerçekleştikten sonra 5 numaralı akım ile soğurucuya (ABS) yönlendirilir. LiBr açısından zengin olan karışım, 8 numaralı akım ile çözelti pompasına (P2) yönlendirilir ve oradan 9 numaralı akım ile soğurucu ısı değiştiricisine (SHX) pompalanır. ABS'deki karışım, 6 numaralı akımdaki EV'den gelen buharla karıştırılır. Bu karışım ABS'den 7 numaralı akımdaki genleşme valfi (V) aracılığıyla Gen'e geri döner. ABS'deki atık ısı, ORÇ sisteminde ısı girdisi olarak kullanılır. ORÇ iş akışkanı, 10 numaralı akımda ORÇ türbinine (ORCT) girerken, 11 numaralı akımda ORCT'den çıkar ve ORÇ sistemi yoğunlaştırucusuna (ORCcon) girer. ORCT'de gerçekleşen genişleme işiyle mekanik iş üretilir. 12 numaralı akımda ORÇ iş akışkanı, yoğunlaşma prosesi nedeniyle tamamen doymuş sıvı formda bulunmaktadır. Daha sonra ORÇ döngüsünün tamamlanması için ABS'ye iletimi yapılır.

### 3.1.3 Önerilen Sistemin Akış Diyagramı Simülasyonu

Engineering Equation Solver (EES) paket programı kullanılarak termodinamik olarak modellenen önerilen sistem için akış diyagramının simülasyon sonuçları Tablo 5'te gösterilmiştir. Bu sistemin değerlendirilmesi için seçilen özel tasarım parametreleri ve yapılan varsayımlar Tablo 6'da özetlenmiştir. Sistem için kabul edilen genel varsayımlar ise aşağıda listelenmiştir:

- Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmiştir.
- Sistem, sürekli akışlı bir rejimde çalışmaktadır.
- Tüm bileşenlerin çevreye olan ısı kayıpları ihmal edilmiştir.
- Pompalar ve valfler dışındaki tüm bileşenlerin voltaj değişimi ihmal edilmiştir.

Tablo 5. Önerilen sistemin akış diyagramı simülasyon sonuçları.

| Akım | $P[kPa]$ | $T[°C]$ | $\dot{m} \left[ \frac{kg}{s} \right]$ | $h \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$ | $s \left[ \frac{kJ}{kg K} \right]$ | $X(\%)$ |
|------|----------|---------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------|
| 0    | 3,169    | 25      | 2,155                                 | 104,8                            | 0,367                              |         |
| 1    | 3,169    | 90      | 2,155                                 | 2669                             | 8,928                              |         |
| 2    | 7,381    | 80      | 2,155                                 | 2649                             | 8,483                              |         |
| 3    | 7,381    | 40      | 2,155                                 | 167,5                            | 0,5723                             |         |
| 4    | 47,37    | 80      | 2,155                                 | 334,9                            | 1,075                              |         |
| 5    | 47,37    | 80      | 2,155                                 | 2643                             | 7,611                              |         |
| 6    | 47,37    | 150     | 43,42                                 | 349,7                            | 0,7354                             | 66,77   |
| 7    | 80,95    | 156,6   | 43,42                                 | 349,7                            | 0,8015                             | 63,46   |
| 8    | 47,37    | 150     | 41,27                                 | 349,7                            | 0,7354                             | 66,77   |
| 9    | 41,48    | 145     | 41,27                                 | 340,9                            | 0,7139                             | 66,77   |
| 10   | 1926     | 145     | 18,87                                 | 463,9                            | 1,71                               |         |
| 11   | 75,71    | 20      | 18,87                                 | 410,9                            | 1,719                              |         |
| 12   | 75,71    | 20      | 18,87                                 | 221                              | 1,074                              |         |

Burada  $P, T, \dot{m}, h, s$  ve  $X$  sırasıyla ilgili akımlardaki basınç, sıcaklık, kütsel debi, spesifik entalpi, spesifik entropi ve LiBr-su çözeltisinin LiBr konsantrasyon yüzdesi değerlerini ifade etmektedir.

Tablo 6. Önerilen sistem için belirlenen tasarım parametreleri ve kabul edilen varsayımlar.

| Tasarım parametreleri                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                            | Varsayımlar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Absorpsiyonlu ısı yükselticisi (AIY)                                                                                                                                                                                 | ORÇ sistem                                                                                                                                                 | Absorpsiyonlu ısı yükselticisi (AIY)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ORÇ sistem                                                                                                                           |
| Kaynatıcı sıcaklığı: 80°C<br>Yoğuşturucu sıcaklığı: 40°C<br>Buharlaştırıcı sıcaklığı: 80°C<br>Soğurucu sıcaklığı: 150°C<br>Isı değişiricisi sıcaklığı: 145°C<br>Soğutkan-absorbent madde karışımı: LiBr-su çözeltisi | ORÇ iş akışkanı: R123<br>Buharlaştırıcı sıcaklığı: 145°C<br>Yoğuşturucu sıcaklığı: 20°C<br>Türbin izantropik verimi: 0.95<br>Net mekanik türbin gücü: 1 MW | Yoğuşturucudan çıkan su doymuş sıvı fazındadır.<br>Buharlaştırıcıdan çıkan su doymuş buhar fazındadır.<br>Soğurucudan ayrılan LiBr-su çözeltisi soğurucu basıncı ve sıcaklığında dengededir.<br>Kaynatıcıyı terk eden LiBr-su çözeltisi soğurucu basıncı ve sıcaklığında dengededir.<br>Kaynatıcıdan çıkan suyun sıcaklığı kaynatıcı sıcaklığındadır. | Organik iş akışkanı türbin girişinde doymuş buhar fazındadır.<br>Yoğuşturucu çıkışındaki organik iş akışkanı doymuş sıvı fazındadır. |



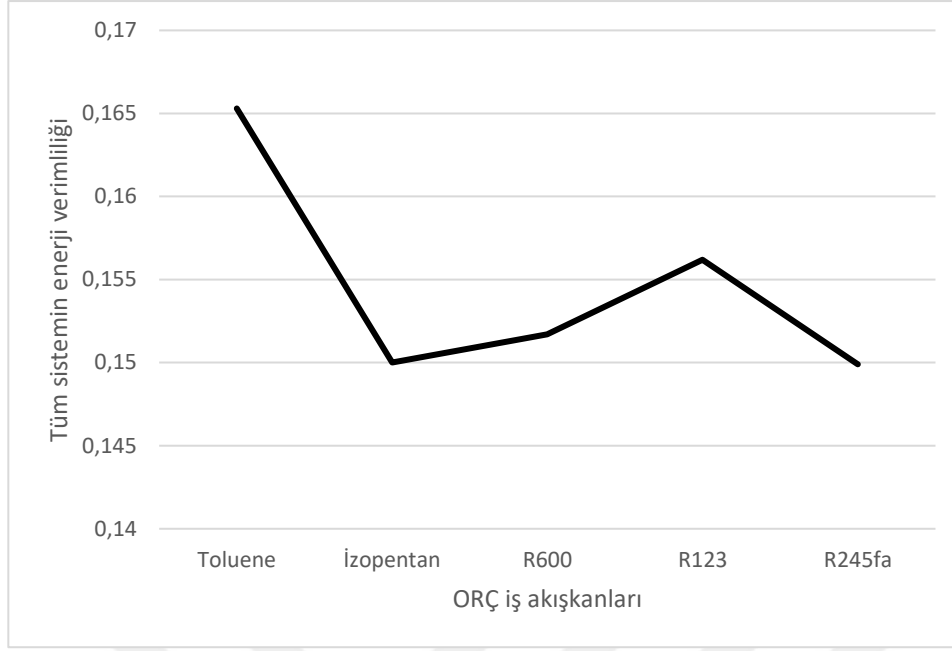
### 3.1.4 Analizler

#### 3.1.4.1 Enerji Analizi

Önerilen sistemde termodinamiğin birinci yasasına dayalı olarak enerji analizi uygulamak için, her bir sistem bileşeni için kütle ve enerji denge denklemleri yazılmıştır. Bu denklemler Tablo 7'de özetlenmiştir. Beş farklı ORÇ çalışma akışkanı için, genel sistem enerji verimlilik değerleri Şekil 12'de karşılaştırılmış ve enerji açısından en iyi ORÇ çalışma akışkanını belirlemek için kullanılmıştır. Bu şekilde göre, toluen, R123 ve R600, diğerleri ile karşılaştırıldığında daha iyi enerjistik performans sergilemiştir. Tablo 8'de ise, enerjistik açıdan en iyi ORÇ iş akışkanı için enerji analizi sonuçları gösterilmiştir.

Tablo 7. Önerilen sistem için kütle ve enerji denge denklemleri.

| Bileşen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Kütle denge denklemi                                                                                                                                   | Enerji denge denklemi                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $\dot{m}_7 = \dot{m}_2 + \dot{m}_8$<br>$\dot{m}_7 X_7 = \dot{m}_8 X_8$<br>$f = \frac{X_7}{(X_8 - X_7)} f = X_7 / (X_8 - X_7)$                          | $\dot{Q}_{Gen} = \dot{m}_2 [f h_8 + h_2 - (f + 1) h_7]$                                  |
| ABScon                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $\dot{m}_2 = \dot{m}_3$                                                                                                                                | $\dot{Q}_{ABScon} = \dot{m}_2 (h_2 - h_3)$                                               |
| P1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $\dot{m}_3 = \dot{m}_4$                                                                                                                                | $\dot{m}_3 h_3 + \dot{W}_{P1} = \dot{m}_4 h_4$                                           |
| EV                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $\dot{m}_4 = \dot{m}_5$                                                                                                                                | $\dot{Q}_{EV} = \dot{m}_2 (h_5 - h_4)$                                                   |
| ABS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $\dot{m}_5 + \dot{m}_{9'9'} = \dot{m}_6$<br>$\dot{m}_6 X_6 = \dot{m}_{9'9'} X_{9'9'}$                                                                  | $\dot{Q}_{ABS} = \dot{m}_2 [h_5 + f h_9 - (f + 1) h_6]$                                  |
| SHX                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $\dot{m}_6 = \dot{m}_{6'6'}$<br>$\dot{m}_9 = \dot{m}_{9'9'}$<br>$\dot{m}_6 X_6 = \dot{m}_{6'6'} X_{6'6'}$<br>$\dot{m}_9 X_9 = \dot{m}_{9'9'} X_{9'9'}$ | $\dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_9 h_9 = \dot{m}_{6'6'} h_{6'6'} +$<br>$\dot{m}_{9'9'} h_{9'9'}$ |
| P2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $\dot{m}_8 = \dot{m}_9$                                                                                                                                | $\dot{m}_8 h_8 + \dot{W}_{P2} = \dot{m}_9 h_9$                                           |
| V                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | $\dot{m}_{6'6'} = \dot{m}_7$                                                                                                                           | $h_{6'6'} = h_7$                                                                         |
| ORCT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $\dot{m}_{10} = \dot{m}_{11}$                                                                                                                          | $\dot{m}_{10} h_{10} = \dot{m}_{11} h_{11} + \dot{W}_{ORCT}$                             |
| ORCcon                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $\dot{m}_{11} = \dot{m}_{12}$                                                                                                                          | $\dot{Q}_{ORCcon} = \dot{m}_{10} (h_{11} - h_{12})$                                      |
| DGK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $\dot{m}_1 = \dot{m}_{2'2'}$                                                                                                                           | $\dot{Q}_{DGK} = \dot{m}_{2'2'} c_p (T_{2'2'} - T_1)$                                    |
| where $\dot{W}_p [kW]$ , $\dot{W}_t [kW]$ , $c_p \left[ \frac{kJ}{kgK} \right]$ , $\dot{Q} [kW]$ , $\dot{W}_p [kW]$ , $\dot{W}_t [kW]$ , $c_p \left[ \frac{kJ}{kgK} \right]$ , $\dot{Q} [kW]$ ,<br>$f$ , $Q [kW]$ $\dot{Q} [kW]$ sırasıyla pompa ve türbin güçlerini, güneş kolektöründeki iş akışkanının özgül ısı, AIY çevrimindeki sirkülasyon oranı ve ilgili ekipmanlarda gerçekleşen ısı transfer hız değerlerini ifade etmektedir. |                                                                                                                                                        |                                                                                          |



Şekil 12. Seçilen beş farklı ORÇ iş akışkanı için önerilen sistemin toplam enerji verimliliği sonuçlarının karşılaştırılması.

Tablo 8. Önerilen sistemin enerjistik açıdan en iyi ORÇ iş akışkanı için enerji analizi sonuçları.

| AIY çevrimi                                               |       | ORÇ çevrimi                                                |      | DGK sistemi                                               |          |
|-----------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------|----------|
| Sirkülasyon oranı, $f$                                    | 19,15 | Yoğuşturucudaki ısı transfer hızı, $\dot{Q}_{ORC,con}[kW]$ | 3582 | Gerekli kolektör ısı transfer hızı, $\dot{Q}_{y,DGK}[kW]$ | 9930     |
| Isı tesir katsayısı, $ITK \left[ \frac{s}{kJ} \right]$    | 0,461 | ORÇ sistemine giren ısı girdisi oranı, $\dot{Q}_{in}[kW]$  | 4582 | Gerekli kolektör alanı, $A[m^2]$                          | 16027,14 |
| Yoğuşturucudaki ısı transfer hızı, $\dot{Q}_{ABScor}[kW]$ | 5348  | ORÇ sisteminin enerji verimliliği, $\eta_{th}$             | 0,21 |                                                           |          |
| Buharlaştırıcıdaki ısı transfer hızı, $\dot{Q}_{Ev}[kW]$  | 4974  |                                                            |      |                                                           |          |
| Kaynatıcıdaki ısı transfer hızı, $\dot{Q}_{gen}[kW]$      | 4956  |                                                            |      |                                                           |          |
| Gerekli toplam pompalama gücü, $\dot{W}_p[kW]$            | 360,8 |                                                            |      |                                                           |          |

### 3.1.4.2 Ekserji Analizleri

Önerilen sistem üzerinde termodinamiğin ikinci yasasına dayalı olarak enerji kalitesini belirlemek için ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde, gerçek koşulları içeren sistemdeki gerçek güç çıktısı, ideal koşulları içeren ideal izin verilen iş çıktısı ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede sistemdeki geliştirme potansiyeli hakkında yorum yapmak mümkün hale gelmiştir. Bu bağlamda, geleneksel ve ileri ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada fiziksel ve kimyasal ekserji akımları dikkate alınarak bu parametreler 16–18 numaralı denklemlerle tanımlanmıştır (Tiktas et al., 2022).

$$\dot{E}^{Ph} = \dot{m}(h_i - h_0) - T_0(s_i - s_0) \quad (16)$$

$$\dot{E}^{Ch} = \sum z_i b_i \quad (17)$$

$$\dot{E} = \dot{E}^{Ph} + \dot{E}^{Ch} \quad (18)$$

Burada,  $\dot{E}^{Ph}$ ,  $\dot{E}^{Ch}$ ,  $\dot{E}$ ,  $\dot{m}$ ,  $h_i$ ,  $z_i$ ,  $b_i$ ,  $h_0$ ,  $s_0$  ve  $T_0$  sırasıyla fiziksel, kimyasal ve toplam ekserji akımlarını, kütsel debiyi, ilgili akımlardaki spesifik entalpi, entropi, mol sayısı, bim mol sayısı başına kimyasal ekserji, referans koşullardaki spesifik entalpi, entropi ve referans sıcaklık değerini ifade etmektedir.

Geleneksel ekserji analizi kapsamında her bir sistem bileşeni için ekserji yakıtı, ürünü ve yıkım akımları ile ekserji verimliliği belirlenmiş ve aynı zamanda genel sistem için de hesaplamalar yapılmıştır. Bu analizde, termodinamiğin ikinci yasasına dayalı olarak her bir sistem bileşeni için ekserji denge denklemleri yazılmıştır. Bu denklemler Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Önerilen sistem için ekserji denge denklemleri

| Bileşen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Ekserji denge denklemi                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $\dot{E}x_{d,Gen} = \dot{Q}_{Gen} \left(1 - \frac{T_0}{T_{Gen}}\right) + [\dot{m}_7 \dot{E}x_7 - \dot{m}_2 \dot{E}x_2 - \dot{m}_8 \dot{E}x_8]$                                                                       |
| ABScon                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $\dot{E}x_{d,ABScon} = -\dot{Q}_{ABScon} \left(1 - \frac{T_0}{T_{ABScon}}\right) + [\dot{m}_2 \dot{E}x_2 - \dot{m}_3 \dot{E}x_3]$                                                                                    |
| P1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $\dot{E}x_{d,P1} = \dot{W}_{P1} + [\dot{m}_3 \dot{E}x_3 - \dot{m}_4 \dot{E}x_4]$                                                                                                                                     |
| EV                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $\dot{E}x_{d,EV} = \dot{Q}_{EV} \left(1 - \frac{T_0}{T_{EV}}\right) + [\dot{m}_4 \dot{E}x_4 - \dot{m}_5 \dot{E}x_5]$                                                                                                 |
| ABS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $\dot{E}x_{d,ABS} = -\dot{Q}_{Abs} \left(1 - \frac{T_0}{T_{Abs}}\right) + [\dot{m}_5 \dot{E}x_5 + \dot{m}_9 \dot{E}x_9 - \dot{m}_6 \dot{E}x_6]$                                                                      |
| SHX                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $\dot{E}x_{d,SHX} = (\dot{m}_6 \dot{E}x_6 - \dot{m}_9 \dot{E}x_9)$                                                                                                                                                   |
| P2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $\dot{E}x_{d,P2} = \dot{W}_{P2} + [\dot{m}_8 \dot{E}x_8 - \dot{m}_9 \dot{E}x_9]$                                                                                                                                     |
| V                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $\dot{E}x_{d,V} = (\dot{m}_6 \dot{E}x_6 - \dot{m}_7 \dot{E}x_7)$                                                                                                                                                     |
| ORCT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | $\dot{E}x_{d,ORCT} = (\dot{m}_{11} \dot{E}x_{11} - \dot{m}_{10} \dot{E}x_{10}) - \dot{W}_{ORCT}$                                                                                                                     |
| ORCcon                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $\dot{E}x_{d,ORCcon} = -\dot{Q}_{ORCcon} \left(1 - \frac{T_0}{T_{ORCcon}}\right) + [\dot{m}_{11} \dot{E}x_{11} - \dot{m}_{12} \dot{E}x_{12}]$                                                                        |
| DGK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $\dot{E}x_{d,DGK} = A_k I \left(1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_{solar}}\right)^4 - \frac{4}{3} \frac{T_0}{T_{solar}}\right) - [\dot{m}_{2'2'} c_p (T_{2'2'} - T_1) - T_0 \ln \left(\frac{T_{2'2'}}{T_1}\right)]$ |
| Burada $T_0[K]$ , $T_{solar}[K]$ , $A_k[m^2]$ , $I \left[\frac{kW}{m^2}\right]$ , $\dot{E}x[kW]$ , ve $\dot{E}x_d[kW]$ sırasıyla ölü hal ve güneş sıcaklıkları, güneş kolektörünün kesit alanı, kolektör yüzeyine gelen güneş ışınım yoğunluğu, ilgili akımları ekserji akımları ve sistem bileşenlerindeki ekserji yıkım akımlarını ifade etmektedir. |                                                                                                                                                                                                                      |

İleri ekserji analizi, sistemdeki herhangi bir bileşenin termodinamik olarak en fazla ne kadar iyileştirilebileceğini belirlemek ve bileşendeki iyileşmenin diğer bileşenlerin performansını nasıl etkilediğini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. İleri ekserji analizinde, ekserji yıkım akımları dört ayrı bölüme ayrılmıştır: içsel, dışsal, kaçınılamaz ve kaçınılabılır. Bu bölümler, 19-21 numaralı denklemlerle belirlenmiştir (Mosaffa ve Farshi, 2020).

$$E_{D,k}^{\dot{}} = E_{D,k}^{\dot{}}{}^{EN} + E_{D,k}^{\dot{}}{}^{EX} \quad (19)$$

$$E_{D,k}^{\dot{}} = E_{D,k}^{\dot{}}{}^{UN} + E_{D,k}^{\dot{}}{}^{AV} \quad (20)$$

$$E_{D,k}^{\dot{}}{}^{UN} = E_{P,k}^{\dot{}}{}^{real} \left( \frac{E_{D,k}^{\dot{}}}{E_{P,k}^{\dot{}}} \right)^{UN} \quad (21)$$

Burada,  $E_{D,k}^{\dot{}}$ ,  $E_{D,k}^{\dot{}}{}^{EN}$ ,  $E_{D,k}^{\dot{}}{}^{EX}$ ,  $E_{D,k}^{\dot{}}{}^{UN}$ ,  $E_{D,k}^{\dot{}}{}^{AV}$ ,  $E_{P,k}^{\dot{}}{}^{real}$  ve  $\left( \frac{E_{D,k}^{\dot{}}}{E_{P,k}^{\dot{}}} \right)^{UN}$  sırasıyla ilgili bileşendeki toplam, içsel, dışsal, kaçınılamaz, kaçınılabılır ekserji yıkım akımlarını, gerçek koşullardaki ekserji ürün akımını ve kaçınılamaz koşullardaki ekserji yıkım akımının ekserji ürünün akımına olan oranını ifade etmektedir.

İçsel ekserji yıkım akımını belirlemek için, incelenen bileşenin gerçek koşullarda olduğu ve diğer bileşenlerin ideal koşullarda olduğu durum için ekserji yıkım akımı hesaplanmıştır. Bu hesaplama, sistem genelinde aynı ekserji ürün akımını sağlayacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Kaçınılamaz ekserji yıkım akımı, her bir bileşen için tanımlanan kaçınılamaz koşullara göre belirlenmiştir. Tablo 10'da, her bir bileşen için gerçek, ideal ve kaçınılamaz koşulları gösterilmiştir. Ayrıca bu analizde, kaçınılamaz ve kaçınılabılır ekserji yıkım akımları, 22–25 numaralı denklemler ile içsel ve dışsal bileşenlere ayrılmıştır.

$$E_{D,k}^{\dot{}}{}^{UN,EN} = E_{P,k}^{\dot{}}{}^{EN} \left( \frac{E_{D,k}^{\dot{}}}{E_{P,k}^{\dot{}}} \right)^{UN} \quad (22)$$

$$E_{D,k}^{\dot{}}{}^{UN,EX} = E_{D,k}^{\dot{}}{}^{UN} - E_{D,k}^{\dot{}}{}^{UN,EN} \quad (23)$$

$$E_{D,k}^{\dot{}}{}^{AV,EN} = E_{D,k}^{\dot{}}{}^{EN} - E_{D,k}^{\dot{}}{}^{UN,EN} \quad (24)$$

$$E_{D,k}^{\dot{}}{}^{AV,EX} = E_{D,k}^{\dot{}}{}^{AV} - E_{D,k}^{\dot{}}{}^{AV,EN} \quad (25)$$

Burada,  $\dot{E}_{D,k}^{UN,EN}$ ,  $\dot{E}_{D,k}^{UN,EX}$ ,  $\dot{E}_{D,k}^{AV,EN}$ ,  $\dot{E}_{D,k}^{AV,EX}$  ve  $\dot{E}_{P,k}^{EN}$  sırasıyla kaçınılamaz içsel, kaçınılamaz dışsal, kaçınılabılır içsel, kaçınılabılır dışsal ekserji yıkım akımlarını ve içsel koşullardaki (incelenen bileşenin gerçek, diğer bileşenlerin ise ideal koşullarda olduğu durum) ekserji ürün akımını ifade etmektedir.

Tablo 10. Önerilen sistem için gerçek, ideal ve kaçınılamaz çalışma koşulları.

| Bileşen | Koşul parametresi                                    | Gerçek durum için değeri | İdeal durum için değeri | Kaçınılamaz durum için değeri |
|---------|------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| ABScon  | Sıcaklık farkı, $\Delta T(^{\circ}\text{C})$         | 55                       | 0                       | 20                            |
| P1      | İzantropik verim, $\eta_{P1}$                        | 0,918                    | 1                       | 0,95                          |
| EV      | Sıcaklık farkı, $\Delta T(^{\circ}\text{C})$         | 0                        | 0                       | 0                             |
| ABS     | Sıcaklık farkı, $\Delta T(^{\circ}\text{C})$         | 10                       | 0                       | 3                             |
| SHX     | Minimum Sıcaklık farkı, $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ | 0                        | 0                       | 0                             |
| P2      | İzantropik verim, $\eta_{P2}$                        | $1,202 \times 10^{-9}$   | 1                       | 0,5                           |
| Gen     | Sıcaklık farkı, $\Delta T(^{\circ}\text{C})$         | 4                        | 0                       | 2                             |
| ORCT    | İzantropik verim, $\eta_T$                           | 0,8                      | 1                       | 0,95                          |
| ORCcon  | Sıcaklık farkı, $\Delta T(^{\circ}\text{C})$         | 0                        | 0                       | 0                             |

Daha derin bir perspektiften bakıldığında, herhangi bir bileşenin dışsal ekserji yıkım oranı, birleşik ve sistemdeki diğer bileşenlerden kaynaklanan dışsal ekserji yıkım akımı katkılarının toplamıdır. Birleşik ekserji yıkım akımı, bileşenler arasındaki eşzamanlı etkileşimlerin bir ölçüsüdür. Bu ilişki, 26 numaralı denklem ile ifade edilmiştir. Bunlara ek olarak, her bileşen için toplam kaçınılabılır dışsal ekserji yıkım akımları, bileşenin termodinamik iyileştirme açısından önemini ifade etmek için 27 numaralı denklem kullanılarak tahmin edilmiştir.

$$\dot{E}_{D,k}^{mexo} = \dot{E}_{D,k}^{EX} - \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq k}}^{n-1} \dot{E}_{D,k}^{EX,r} \quad (26)$$

$$\dot{E}_{D,k}^{AV,T} = \dot{E}_{D,k}^{AV,EN} + \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq k}}^n \dot{E}_{D,r}^{AV,EX,k} \quad (27)$$

Burada,  $\dot{E}_{D,k}^{mexo}$ ,  $\dot{E}_{D,k}^{EX,r}$ ,  $\dot{E}_{D,k}^{AV,T}$  ve  $\dot{E}_{D,r}^{AV,EX,k}$  sırasıyla incelenen

bileşendeki birleşik ekserji yıkım akımını, r. bileşenin k.bileşenin dışsal ekserji yıkım akımı üzerindeki katkısını, toplam kaçınılabılır ekserji yıkım akımını ve r.bileşenin k. bileşenin kaçınılabılır dışsal ekserji yıkımı üzerindeki katkısını ifade etmektedir.

#### **3.1.4.3 Önerilen Sistemin TRNSYS ile Yıllık Simülasyonu**

Önceki bölümlerde anlatılan enerji ve ekserji analizleri anlık analizler olduğundan ve önerilen sistemin performansını ölçmek için yeterli olamamıştır. Bu çalışmadaki önerilen sistem için yıllık analiz, Türkiye'nin İzmir şehri için Transient System Simulation Software (TRNSYS) programında modellenmiştir. TRNSYS'teki kolektör modeli hazır olmasına rağmen, fakat AIY ve ORÇ sistemi doğrudan bir bileşen olarak mevcut olmadığından ilgili bileşenler, EES üzerinden dışarıdan çağrılarak entegre edilmiştir.

#### **3.1.4.4 Önerilen Sistemin Ekonomik Değerlendirme Sonuçları ve Benzer Ölçekli Tesislerle Karşılaştırılması**

DGK, ORC ve AIY sistemlerinin entegrasyonunu içeren önerilen sistem, güneş enerjisi ile elektrik üretimi için daha ekonomik bir yol sunmak amacıyla ekonomik açıdan değerlendirilmiştir. Bu ekonomik değerlendirmede, toplam ilk yatırım maliyeti, geri ödeme süresi, net bugünkü değer, iç karlılık oranı ve seviyelendirilmiş elektrik üretim maliyeti gibi birçok parametre incelenmiştir. İncelenen bu parametreler, aynı ölçekteki mevcut güneş enerjisi santralleri ile karşılaştırılmış ve bu önerilen sistemin güçlü bir alternatif oluşturabileceği gösterilmiştir.

#### **3.1.4.5 Eksergoekonomik Analizler**

Eksergoekonomik analiz ile, enerji ve ekonomi kavramları, her bir bileşen için tanımlanan termoekonomik maliyet akışı ve yardımcı denklemler aracılığıyla birleştirilmiştir. Böylece, her bir bileşen için ekserji yakıtı, ürünü ve yıkım maliyet akımları belirlenmiştir. Bu analiz, enerji analizinde olduğu gibi iki ayrı bölümde incelenmiştir: geleneksel ve ileri eksergoekonomik analiz.

Tablo 11 ‘de her bir bileşen için tanımlanan termoekonomik maliyet akış ve yardımcı denklemler gösterilmiştir. Bu tablodaki yatırım maliyet akımı terimi, Smith (Smith, 2005) tarafından önerilen ve 28-29 numaralı denklemlerde gösterilen kimyasal bileşen hesaplama yöntemi uygulanarak hesaplanmıştır.

$$\dot{Z} = \frac{\phi_k(CRF) \left( \frac{S_c}{S_b} \right)^M}{t} \frac{CEPCI_{2020}}{CEPCI_{2000}} x r_m r_p r_t \quad (28)$$

$$CRF = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (29)$$

Burada,  $\dot{Z}$ ,  $\phi_k$ ,  $CRF$ ,  $\frac{S_c}{S_b}$ ,  $M$ ,  $CEPCI$ ,  $r_m$ ,  $r_p$ ,  $r_t$ ,  $CRF$ ,  $i$  ve  $N$  sırasıyla ilgili bileşenin yatırım maliyet akımını, bakım faktörünü, sermaye geri kazanım faktörünü, bileşen boyutunun yöntemdeki temel boyuta olan oranını, fiyat indeksini, kimyasal ekonomik tesis maliyet indeksini, malzeme, basınç ve sıcaklık düzeltme faktörlerini, faiz oranını ve sistemin toplam çalışma periyodunu ifade etmektedir.

Her bileşen için yakıt ve ürün ekserji (veya ekserjik yakıt ve ürün) akımlarına dayanarak, ürün ve yakıt ekserjisi başına düşen ortalama maliyet, ekserji yıkım maliyet akımı ve eksergoekonomik faktör 30-32 numaralı denklemler ile hesaplanmıştır.

$$c_p \dot{E}_p = c_f \dot{E}_f + \dot{Z} \quad (30)$$

$$\dot{C}_d = c_f \dot{E}_d \quad (31)$$

$$f = \frac{\dot{Z}}{\dot{Z} + \dot{C}_d} \quad (32)$$

Burada,  $c_p$ ,  $c_f$ ,  $\dot{E}_f$ ,  $\dot{C}_d$  ve  $f$  sırasıyla birim ürün ve yakıt ekserjisi başına düşen ortalama maliyetleri, ekserji ürün akımını, ekserji yıkım maliyet akımını ve eksergoekonomik faktörü ifade etmektedir.



Tablo 11. Önerilen sistem için termoekonomik maliyet akışı denklemleri.

| Bileşen                                                                                                                                                                                                                                                                       | Termoekonomik maliyet denklemi                                                                                   | Yardımcı denklem                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| ABScon                                                                                                                                                                                                                                                                        | $c_2 \dot{E}_2 + \dot{Z}_{ABScon} = c_3 \dot{E}_3 + c_{\dot{Q}_{con}} \dot{E}_{\dot{Q}_{con}}$                   | $c_2 = c_3$                                                         |
| P1                                                                                                                                                                                                                                                                            | $c_3 \dot{E}_3 + c_{\dot{W}_{P1}} \dot{W}_{P1} + \dot{Z}_{P1} = c_4 \dot{E}_4$                                   | $c_{\dot{W}_{P1}} = c_{\dot{W}_{P2}} = c_T$                         |
| EV                                                                                                                                                                                                                                                                            | $c_4 \dot{E}_4 + \dot{Z}_{EV} + c_{\dot{Q}_{EV}} \dot{E}_{\dot{Q}_{EV}} = c_5 \dot{E}_5$                         | $c_4 = c_5$                                                         |
| ABS                                                                                                                                                                                                                                                                           | $c_5 \dot{E}_5 + c_9 \dot{E}_9 + \dot{Z}_{ABS} = c_6 \dot{E}_6 + c_{\dot{Q}_{ABS}} \dot{E}_{\dot{Q}_{ABS}}$      | $\frac{c_5 \dot{E}_5 + c_9 \dot{E}_9}{\dot{E}_5 + \dot{E}_9} = c_6$ |
| SHX                                                                                                                                                                                                                                                                           | $c_6 \dot{E}_6 + \dot{Z}_{SHX} = c_9 \dot{E}_9$                                                                  |                                                                     |
| P2                                                                                                                                                                                                                                                                            | $c_8 \dot{E}_8 + c_{\dot{W}_{P2}} \dot{W}_{P2} + \dot{Z}_{P2} = c_9 \dot{E}_9$                                   | $c_8 = c_9$                                                         |
| Gen                                                                                                                                                                                                                                                                           | $c_7 \dot{E}_7 + c_{\dot{Q}_{Gen}} \dot{E}_{\dot{Q}_{Gen}} + \dot{Z}_{Gen} = c_2 \dot{E}_2 + c_8 \dot{E}_8$      | $\frac{c_2 \dot{E}_2 + c_8 \dot{E}_8}{\dot{E}_2 + \dot{E}_8} = c_7$ |
| ORCT                                                                                                                                                                                                                                                                          | $c_{10} \dot{E}_{10} + \dot{Z}_T = c_{11} \dot{E}_{11} + c_T \dot{W}_T$                                          | $c_{10} = c_{11}$                                                   |
| ORCcon                                                                                                                                                                                                                                                                        | $c_{11} \dot{E}_{11} + \dot{Z}_{ORCcon} = c_{12} \dot{E}_{12} + c_{\dot{Q}_{ORCcon}} \dot{E}_{\dot{Q}_{ORCcon}}$ | $c_{11} = c_{12}$                                                   |
| DGK                                                                                                                                                                                                                                                                           | $c_0 \dot{E}_0 + \dot{Z}_{DGK} = c_1 \dot{E}_1$                                                                  | $c_0 = c_1$                                                         |
| Burada $c \left( \frac{\$}{kWh} \right)$ , $\dot{E} (kW)$ , ve $\dot{Z} \left( \frac{\$}{h} \right)$ sırasıyla ekserji akımlarıyla ve iş ve ısı etkileşimleriyle ilişkilendirilmiş maliyet akımı, akımların ekserji değerleri ve yatırım maliyet akımlarını ifade etmektedir. |                                                                                                                  |                                                                     |

İleri eksergoekonomik analizde, her bileşen için ekserji yıkım ve yatırım maliyet akımları ileri ekserji analizinde olduğu gibi dört kısma ayrılmıştır: içsel, dışsal, kaçınılamaz ve kaçınılabılır. Burada, içsel maliyet akımları, bileşenlerin kendilerinden kaynaklanmıştır. Dışsal maliyet akımları ise bileşen üzerinde diğer bileşenlerin etkisi nedeniyle mevcut olmuştur. Kaçınılamaz maliyet akımları, teknik sınırlamalar nedeniyle azaltılamayan maliyetler olarak ortaya çıkmıştır. Ancak kaçınılabılır maliyet akımları, daha akıllı ekipman ve/veya yapı optimizasyonu ile azaltılabilir kategorisi içerisine girmiştir. Bu bileşenler, 33–48 numaralı denklemler ile hesaplanmıştır.

$$\dot{C}_{d,k}^{EN} = c_{f,k} \dot{E}_{d,k}^{EN} \quad (33)$$

$$\dot{C}_{d,k}^{EX} = c_{f,k} \dot{E}_{d,k}^{EX} \quad (34)$$

$$\dot{C}_{d,k}^{UN} = c_{f,k} \dot{E}_{d,k}^{UN} \quad (35)$$

$$\dot{C}_{d,k}^{AV} = c_{f,k} \dot{E}_{d,k}^{AV} \quad (36)$$

$$\dot{C}_{d,k} = \dot{C}_{d,k}^{EN} + \dot{C}_{d,k}^{EX} \quad (37)$$

$$\dot{C}_{d,k} = \dot{C}_{d,k}^{UN} + \dot{C}_{d,k}^{AV} \quad (38)$$

$$\dot{C}_{d,k}^{UN,EN} = c_{f,k} x \quad (39)$$

$$\dot{C}_{d,k}^{UN,EX} = c_{f,k} x \quad (40)$$

$$\dot{E}_{d,k}^{UN,EX}$$

$$\dot{C}_{d,k}^{AV,EN} = c_{f,k} x \quad (41)$$

$$\dot{E}_{d,k}^{AV,EN}$$

$$\dot{C}_{d,k}^{AV,EX} = c_{f,k} \dot{E}_{d,k}^{AV,EX} \quad (42)$$

$$\dot{Z}_k^{EX} = \dot{Z}_k - \dot{Z}_k^{EN} \quad (43)$$

$$\dot{Z}_k^{AV} = \dot{Z}_k - \dot{Z}_k^{UN} \quad (44)$$

$$\dot{Z}_k^{UN,EN} = \dot{E}_{p,k}^{EN} \left( \frac{\dot{Z}_k}{\dot{E}_{p,k}} \right)^{UN} \quad (45)$$

$$\dot{Z}_k^{UN,EX} = \dot{Z}_k^{UN} \quad (46)$$

$$-\dot{Z}_k^{UN,EN}$$

$$\dot{Z}_k^{AV,EN} = \dot{Z}_k^{EN} \quad (47)$$

$$-\dot{Z}_k^{UN,EN}$$

$$\dot{Z}_k^{AV,EX} = \dot{Z}_k^{EX} \quad (48)$$

$$-\dot{Z}_k^{UN,EX}$$

Burada,

$$\dot{C}_{d,k}^{EN}, \dot{C}_{d,k}^{EX}, \dot{C}_{d,k}^{UN}, \dot{C}_{d,k}^{AV}, \dot{C}_{d,k}^{UN,EN}, \dot{C}_{d,k}^{UN,EX}, \dot{C}_{d,k}^{AV,EN}, \dot{C}_{d,k}^{AV,EX}, \dot{Z}_k^{EN}, \dot{Z}_k^{EX},$$

$$\dot{Z}_k^{UN}, \dot{Z}_k^{AV}, \dot{Z}_k^{UN,EN}, \dot{Z}_k^{UN,EX}, \dot{Z}_k^{AV,EN}, \dot{Z}_k^{AV,EX}, \dot{E}_{p,k}^{EN} \text{ ve } \left( \frac{\dot{Z}_k}{\dot{E}_{p,k}} \right)^{UN} \text{ sırasıyla}$$

içsel, dışsal, kaçınılamaz, kaçınılabılır, kaçınılamaz içsel, kaçınılamaz dışsal, kaçınılabılır içsel, kaçınılabılır dışsal ekserji yıkım ve ekipman maliyet akımlarını, içsel koşullardaki ekserji ürün akımını ve “kaçınılamaz koşullardaki ekipman maliyet akımının ekserji ürün akımına olan akımı ifade etmektedir.

### 3.1.4.6 Çevresel Etki Analizi

Önerilen sistem üzerinde çevresel analiz, sistemin sera gazı emisyonları açısından çevre dostu olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bu değerlendirmede, önerilen sistemden kaynaklanan toplam sera gazı emisyon

miktarı, doğrudan ve dolaylı emisyonların toplamı alınarak elde edilmiştir. Doğrudan emisyonları hesaplamak için 49 numaralı denklem (Hwang et al., 2015) kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} Em_{direct} &= Cx \\ (L_T(ALR)(EOL))x(GWP \\ &+ adp.GWP) \end{aligned} \quad (49)$$

Burada,  $Em_{direct}$ ,  $C$ ,  $L_T$ ,  $ALR$ ,  $EOL$ ,  $GWP$  ve  $adp.GWP$  sırasıyla doğrudan olan emisyon miktarını, emisyonu neden olan maddesel yükü, sistemin toplam ömür süresini, yıllık sızıntı akımını, malzeme ömrünü, küresel ısınma potansiyelini ve atmosferik bozulma ile maddenin küresel ısınma potansiyelini ifade etmektedir.

Dolaylı emisyon miktarını belirlemek için enerji tüketimi, ekipman üretimi, ekipman geri dönüşümü ve madde üretimi emisyonlarının bileşenleri eklenmiştir. Toplam dolaylı eşdeğer  $CO_2$  emisyon miktarının tahmini için 50–54 numaralı denklemler kullanılmıştır.

$$Em_{indirect} = Em_{energy} \quad (50)$$

$$+ Em_{eq.mfg} + Em_{eq.rcy} + Em_{re.mfg}$$

$$Em_{energy} = L_T(AEC)EF \quad (51)$$

$$Em_{eq.mfg} = \sum MM(m) \quad (52)$$

$$Em_{eq.rcy} = \sum RM(mr) \quad (53)$$

$$\begin{aligned} Em_{re.mfg} &= (C + \\ (C(ALR)(LT)))RMF + C(1 - \\ EOL)(RDF) \end{aligned} \quad (54)$$

Burada,

$Em_{indirect}$ ,  $Em_{energy}$ ,  $Em_{eq.mfg}$ ,  $Em_{eq.rcy}$ ,  $Em_{re.mfg}$ ,  $EF$ ,  $MM$ ,  $m$ ,  $RM$ ,  $mr$ ,  $RMF$  ve  $RDF$  sırasıyla dolaylı, enerji, bileşen imalatı, bileşen geri dönüşümü ve madde üretim yoluyla oluşan emisyon miktarlarını, emisyon faktörünü, 1 kg malzeme üretimine eşdeğer  $CO_2$  emisyonunu, üretilen malzeme kütlesini, 1 kg geri

dönüştürülen malzemeye ilişkin **CO<sub>2</sub>** emisyonunu, geri dönüştürülen malzeme kütlesini, madde üretim emisyonlarını ve madde imha emisyonlarını ifade etmektedir.

### 3.1.4.7 Sürdürülebilirlik Analizi

Önerilen sistem için ekolojik etki, sosyoekolojik faktör ve ekserjitik sürdürülebilirlik indeksi gibi sürdürülebilirlik indeksleri, 55–57 numaralı denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Çevresel ve sürdürülebilirlik analizi sonuçları Tablo 12'de gösterilmiştir.

$$EEF_k = \frac{FExWR_k}{\eta_{ex,k}} \quad (55)$$

$$SEF_k = \frac{1}{1-\eta_{ex,k}} \quad (56)$$

$$ExSI_k = \frac{1}{EEF_k} \quad (57)$$

Burada, **EEF**, **SEF**, **ExSI**, **FExWR** ve  $\eta_{ex}$  sırasıyla çevresel etki faktörünü, sosyo-ekolojik faktörü, ekserjitik sürdürülebilirlik indeksini, ekserjitik yakıt atık akımını ve ekserji verimliliğini ifade etmektedir.

Tablo 12. Önerilen sistem için çevresel etki ve sürdürülebilirlik analizi sonuçları.

| Bileşen    | Ekolojik etki faktörü, <i>EcoEF</i> | Çevresel etki faktörü, <i>EEF</i> | Ekserjitik sürdürülebilirlik indeksi, <i>EXSI</i> | Sosyo-ekolojik faktör, <i>SEF</i> |
|------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Gen        | 2,03                                | 1,03                              | 0,97                                              | 1,97                              |
| ABScon     | 1,28                                | 0,299                             | 3,34                                              | 4,63                              |
| P1         | 9,55                                | 8,55                              | 0,12                                              | 1,12                              |
| EV         | 1,09                                | 0,08                              | 11,31                                             | 12,32                             |
| ABS        | 2,47                                | 1,47                              | 0,68                                              | 1,68                              |
| SHX        | 1,06                                | 0,06                              | 17,75                                             | 18,76                             |
| P2         | 3,77                                | 2,77                              | 0,36                                              | 1,361                             |
| V          | 1,03                                | 0,026                             | 37,85                                             | 38,91                             |
| ORCT       | 1,05                                | 0,05                              | 20,12                                             | 21,1                              |
| ORCcon     | 1,31                                | 0,31                              | 3,24                                              | 4,24                              |
| DGK        | 78,8                                | 77,83                             | 0,012                                             | 1,01                              |
| Tüm sistem | 1,05                                | 0,10                              | 9,79                                              | 21,05                             |

### 3.1.4.8 İleri Ekserji Analizi Temelinde Geliştirilen Özgün Sistem Performans İndisleri

Önceki bölümlerde, bu çalışmada önerilen sistem için enerji, ileri ekserji ve ileri eksergoekonomik analizlerin yapıldığı belirtilmiştir. Ancak ileri ekserji analizi ile, sistem ve tüm bileşenler için daha ayrıntılı bilgiler elde edildiği bir gerçektir. Bu nedenle, bu analizin parametrelerini ve varsayımlarını daha ayrıntılı bir şekilde ele alarak geliştirilen özgün indisler Tablo 13'te gösterilmiştir. Bu tablo, geliştirilen özgün indislerin adını, gösterimini ve kullanım amacını içermektedir. Geliştirilen yeni indisler arasındaki ilişkiler 58–76 numaralı denklemler ile ifade edilmiştir. Yeni indisler arasındaki ilişkilerin matematiksel temeli 77–80 numaralı denklemler ile kurulmuştur.

$$SIIG = \frac{\dot{E}_{P,overall}}{\sum_{k=1}^{k=n} \dot{E}_{F,k}^{EN}} \quad (58)$$

$$SEIG = \frac{\dot{E}_{P,overall}}{\sum_{k=1}^{k=n} \dot{E}_{F,k}^{EX}} \quad (59)$$

$$\frac{1}{\eta_{ex,R}} = \frac{1}{SIIG} + \frac{1}{SEIG} \quad (60)$$

$$IExFR = \frac{\sum_{k=1}^{k=n} \dot{E}_{F,k}^R}{\sum_{k=1}^{k=n} \dot{E}_{F,k}^{EN}} \quad (61)$$

$$SIIG = \eta_{ex,R}(IExFR) \quad (62)$$

$$\eta_{ex,EN,k} = \frac{\dot{E}_{P,k}^{EN}}{\dot{E}_{F,k}^{EN}} \quad (63)$$

$$\eta_{ex,EX,k} = \frac{\dot{E}_{P,k}^{EX}}{\dot{E}_{F,k}^{EX}} \quad (64)$$

$$IMFR, k = \frac{\dot{M}^{EN,k}}{\dot{M}^{R,k}} \quad (65)$$

$$ETIExPR, k = \frac{\dot{E}_{P,k}^{EX}}{\dot{E}_{P,k}^{EN}} \quad (66)$$

$$\frac{1}{\eta_{ex,k,R}} = IMFR, k \left[ \frac{1}{\eta_{ex,EN,k}} + \left( \frac{1}{\eta_{ex,EX,k}} ETIExPR, k \right) \right] \quad (67)$$

$$\eta_{ex,UN,k} = \frac{\dot{E}_{P,k}^{UN}}{\dot{E}_{F,k}^{UN}} \quad (68)$$

$$\eta_{ex,AV,k} = \frac{\dot{E}_{P,k}^{AV}}{\dot{E}_{F,k}^{AV}} \quad (69)$$

$$UNExFR, k = \frac{\dot{E}_{F,k}^{UN}}{\dot{E}_{F,k}^R} \quad (70)$$

$$AVExFR, k = \frac{\dot{E}_{F,k}^{AV}}{\dot{E}_{F,k}^R} \quad (71)$$

$$AVExPR = \frac{\dot{E}_{P,k}^{AV}}{\dot{E}_{P,k}^R} \quad (72)$$

$$UNExPR = \frac{\dot{E}_{P,k}^{UN}}{\dot{E}_{P,k}^R} \quad (73)$$

$$\eta_{ex,UN,k} = \eta_{ex,R} \left( \frac{1}{UNExFR,k} \right) (UNExPR) \quad (74)$$

$$\eta_{ex,AV,k} = \eta_{ex,R} \left( \frac{1}{AVExFR,k} \right) (AVExPR) \quad (75)$$

$$UPI_{,k} = \frac{(1 - \eta_{ex,R}) - \left[ \left( \frac{1}{UNExPR,k} \right) UNExFR, k - ((UNExPR, k) \eta_{ex,R} (UNExPR, k)) \right]}{\left[ \left( \frac{1}{UNExPR,k} \right) UNExFR, k - ((UNExPR, k) \eta_{ex,R} (UNExPR, k)) \right]} \quad (76)$$

$$\dot{E}_{P,total}^R = \dot{E}_{P,total}^{EN} + \dot{E}_{P,total}^{EX} \quad (77)$$

$$\sum_{k=1}^{k=n} \dot{E}_{F,k}^R = \sum_{k=1}^{k=n} \dot{E}_{F,k}^{EN} + \sum_{k=1}^{k=n} \dot{E}_{F,k}^{EX} \quad (78)$$

$$\frac{\dot{E}_{P,k}^{EN}}{\dot{E}_{P,k}^R} = \frac{\dot{M}^{EN,k}}{\dot{M}^{R,k}} \quad (79)$$

$$\dot{E}_{D,k}^{UN} = \dot{E}_{P,k}^R \left( \frac{\dot{E}_{D,k}}{\dot{E}_{P,k}} \right)^{UN} \quad (80)$$

Burada,

***SIIG, SEIG, IExFR, IMFR, ETIExPR,  $\eta_{ex,EN,k}$ ,  $\eta_{ex,EX,k}$ ,  $\eta_{ex,UN,k}$ ,  $\eta_{ex,AV,k}$ , UNExFR,***

***AVExFR, AVExPR, UNExPR, UPI<sub>,k</sub>,  $\dot{E}_{P,overall}$ ,  $\dot{E}_{F,k}^R$ ,  $\eta_{ex,R}$ ,  $\dot{M}^{EN,k}$  ve  $\dot{M}^{R,k}$***

sırasıyla spesifik içsel tersinmezlik üretim indeksini, spesifik içsel tersinmezlik üretim indeksini, içsel ekserjitik yakıt akımını, içsel kütleli debi akımını, dışsal ve içsel ekserjitik ürünlerin akımını, ekipmanların içsel, dışsal, kaçınılmaz ve

kaçınılabılır ekserji verimliliğini, kaçınılamaz ekserjitik yakıt akımını, kaçınılabılır ekserjitik yakıt akımını, kaçınılabılır ekserjitik ürün akımını, kaçınılamaz ekserjitik ürün akımını, termodinamik iyileştirme potansiyeli indeksini, sistemin toplam ekserji ürün akımını, gerçek koşullardaki ekserji yakıt akımını, gerçek koşullardaki ekserji verimliliğini ve içsel ve gerçek koşullardaki kütleli debiyi ifade etmektedir.



Tablo 13. Geliştirilen özgün indislerin tanımlayıcı listesi.

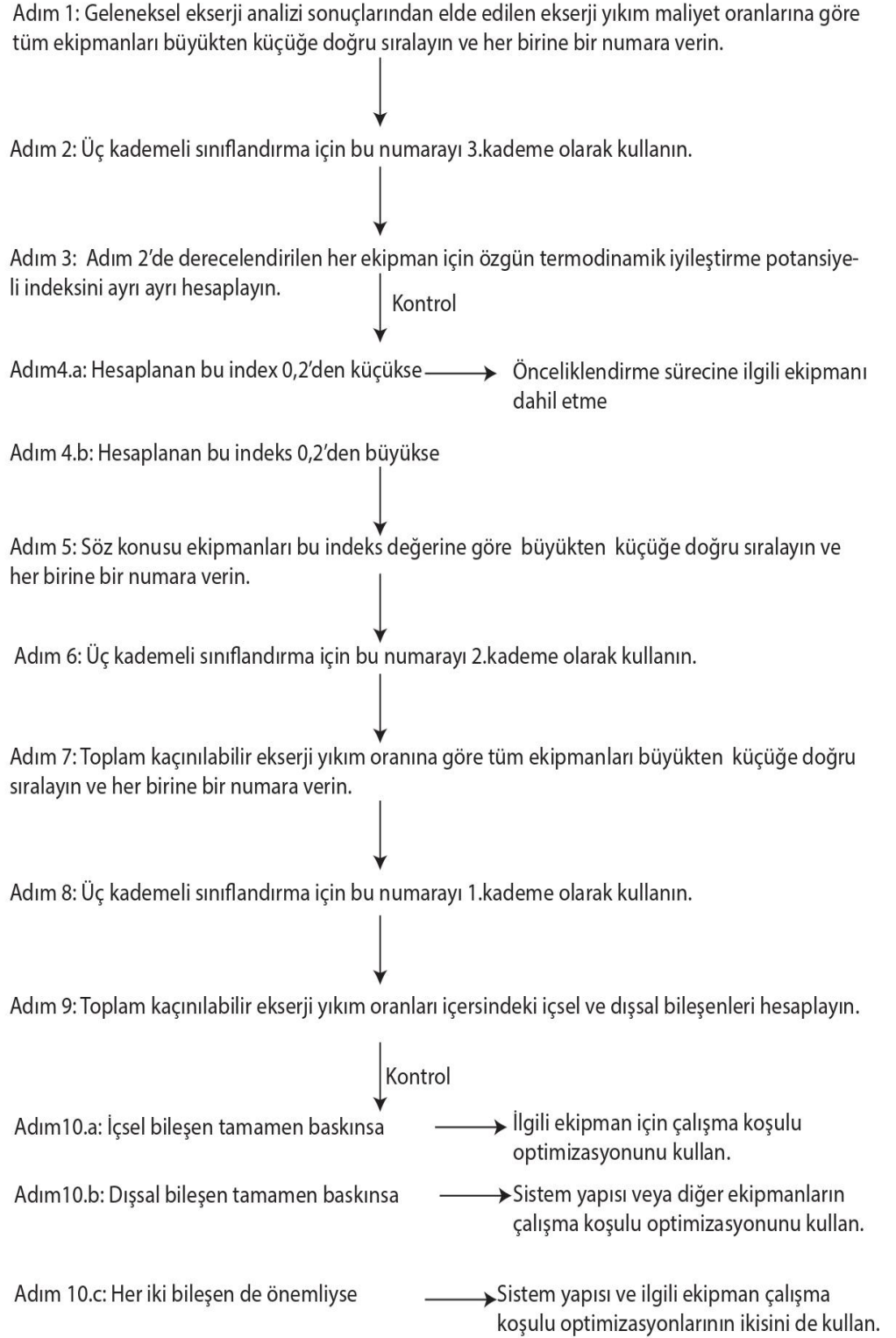
| İndeks adı                                   | Gösterimi      | Kullanılma amacı                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Spesifik içsel tersinmezlik üretim indeksi   | $SIIG$         | Brim ekserjitik ürün başına tüm sistem içersinde ne kadar içsel tersinmezlik oluştuğunu belirlemek                                                                        |
| Spesifik dışsal tersinmezlik üretim indeksi  | $SEIG$         | Brim ekserjitik ürün başına tüm sistem içersinde ne kadar dışsal tersinmezlik oluştuğunu belirlemek                                                                       |
| Ekipmanların içsel ekserji verimliliği       | $\eta_{ex,EN}$ | İçsel koşullar için ekipmanın ekserji verimliliğini saptamak                                                                                                              |
| Ekipmanların dışsal ekserji verimliliği      | $\eta_{ex,EX}$ | Dışsal koşullar için ekipmanın ekserji verimliliğini saptamak                                                                                                             |
| İçsel ekserjitik yakıt akımı                 | $IExFR$        | İçsel tersinmezliklerin ekserjitik yakıt akımı üzerindeki etkisini saptamak                                                                                               |
| İçsel kütleli debi akımı                     | $IMFR$         | İçsel tersinmezliklerin kütleli debiler üzerindeki etkisini saptamak                                                                                                      |
| Dışsal ve içsel ekserjitik ürünlerin akımı   | $ETIExPR$      | Dışsal ve içsel ekserjitik ürünlerin birbirine göre önem derecesini belirlemek                                                                                            |
| Kaçınılamaz ekserji verimliliği              | $\eta_{ex,UN}$ | Kaçınılamaz koşullar için ekipmanın ekserji verimliliğini saptamak                                                                                                        |
| Kaçınılabılır ekserji verimliliği            | $\eta_{ex,AV}$ | Kaçınılabılır koşullar için ekipmanın ekserji verimliliğini saptamak                                                                                                      |
| Kaçınılamaz ekserjitik yakıt akımı           | $UNExFR$       | Kaçınılamaz tersinmezliklerin ekserjitik yakıt akımı üzerindeki etkisini saptamak                                                                                         |
| Kaçınılamaz ekserjitik ürün akımı            | $UNExPR$       | Kaçınılamaz tersinmezliklerin ekserjitik ürün akımı üzerindeki etkisini saptamak                                                                                          |
| Kaçınılabılır ekserjitik yakıt akımı         | $AVExFR$       | Kaçınılabılır tersinmezliklerin ekserjitik yakıt akımı üzerindeki etkisini saptamak                                                                                       |
| Kaçınılabılır ekserjitik ürün akımı          | $AVExPR$       | Kaçınılabılır tersinmezliklerin ekserjitik ürün akımı üzerindeki etkisini saptamak                                                                                        |
| Termodinamik iyileştirme potansiyeli indeksi | $UPI$          | Uygulanabilir geri kazanılabilir ekserji yıkım akımlarının teknolojik ve ekonomik kısıtlardan dolayı var olan kaçınılamaz ekserji yıkım akımlarına olan akımı ifade etmek |

### 3.1.4.9 Önerilen Sistemin İyileştirme Potansiyeli İçin Geliştirilen Özgün Önceliklendirme Yöntemi

Tablo 14’te, önerilen sistemdeki iyileştirme potansiyelinin tahmini ve uygulanması için geliştirilen özgün önceliklendirme yönteminin genel metodolojisi gösterilmiştir.



Tablo 14. Geliştirilen özgün önceliklendirme yönteminin genel metodolojisi.



### 3.1.4.10 Özgün Önceliklendirme Yönteminin ve Performans İndislerinin Doğrulanması

Geliştirilen özgün önceliklendirme yöntemi ve performans ölçütlerinin doğruluğunu kanıtlamak için, öncelikle literatürden enerji sistemleri üzerine yayımlanmış bir çalışma seçilmiştir (Zhou et al., 2021), ardından bu çalışmaya geliştirilen özgün metodoloji uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Referans çalışma üzerinde yeni metodolojinin uygulanması için gerekli veriler, tasarım parametrelerinden ilgili çalışmanın termodinamik modelinin oluşturulması ve bu sisteme enerji ve ileri eksergoekonomik analizlerin uygulanmasıyla elde edilmiştir. Tablo 15'te, referans çalışma için özgün indislerle yapılan performans değerlendirme sonuçları sunulmuştur. Tablo 15'teki iyileştirme potansiyeli indisi (UPI) değerinin değerlendirilmesi ve ileri eksergoekonomik sonuçlarla birlikte, özgün önceliklendirme yöntemleri bu çalışma için uygulanmıştır. Özgün önceliklendirme yönteminin sonuçları, referans çalışmada tanıtılan ve ORÇ ve absorpsiyonlu soğutma sistemi bileşenlerinden oluşan sistemdeki en büyük tersinmezliğin termal reaksiyonlar nedeniyle buharlaştırıcıda olduğunu, ancak bu bileşenin iyileştirme potansiyelinin oldukça düşük olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, türbin ve soğurucunun sistem genelinde termodinamik iyileşme anlamında yüksek bir potansiyele sahip olduğu ve bu bileşenlerin ilgili ekipman durumu optimizasyonunun uygulanmasıyla önceliklendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu bulgular, referans çalışmasının sonuçlarıyla tamamen uyumludur.

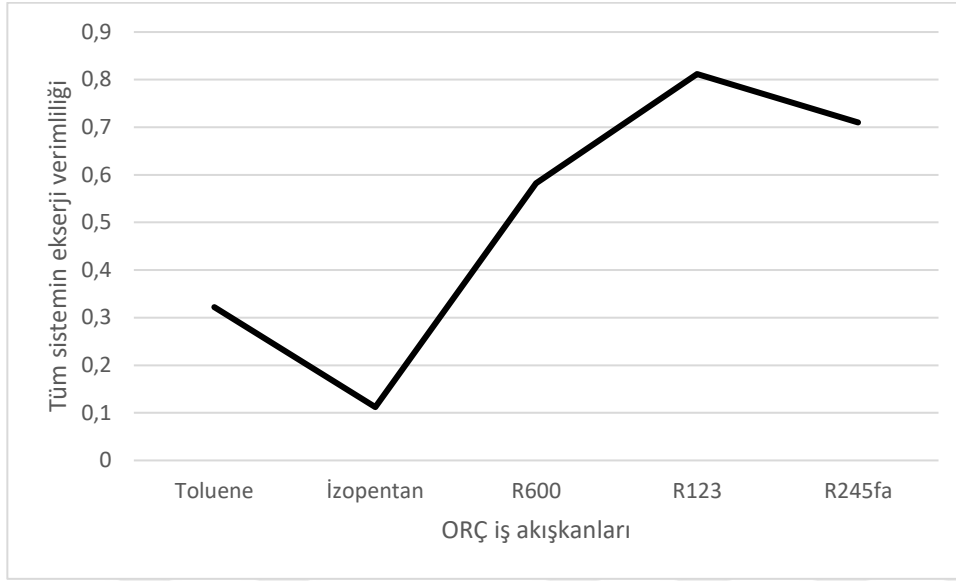
Tablo 15. Referans çalışma için özgün indislerle yapılan performans değerlendirme sonuçları (Zhou et al.,2021).

| Bileşen, k        | $\eta_{ex,EN,k}$ | $\eta_{ex,EX,k}$ | $\eta_{ex,UN,k}$ | $\eta_{ex,AV,k}$ | UPI   |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|
| Buharlaştırıcı 1  | 0,613            | 0,387            | 0,429            | 0,571            | 0,255 |
| Türbin            | 0,466            | 0,534            | 0,326            | 0,674            | 0,646 |
| Yoğuşturucu 1     | 0,76             | 0,24             | 0,532            | 0,468            | 0,549 |
| Pompa 1           | 0,927            | 0,073            | 0,649            | 0,351            | 0,516 |
| Kaynatıcı         | 0,835            | 0,165            | 0,584            | 0,416            | 0,396 |
| Yoğuşturucu 2     | 0,596            | 0,404            | 0,417            | 0,583            | 0,615 |
| Soğurucu          | 0,262            | 0,738            | 0,183            | 0,817            | 0,763 |
| Pompa 2           | 0,851            | 0,149            | 0,595            | 0,405            | 0,527 |
| Isı değiştiricisi | 0,729            | 0,271            | 0,51             | 0,49             | 0,506 |

### 3.1.5 Bulguların Değerlendirilmesi ve Tartışma

#### 3.1.5.1 Ekserji Analizi Sonuçları

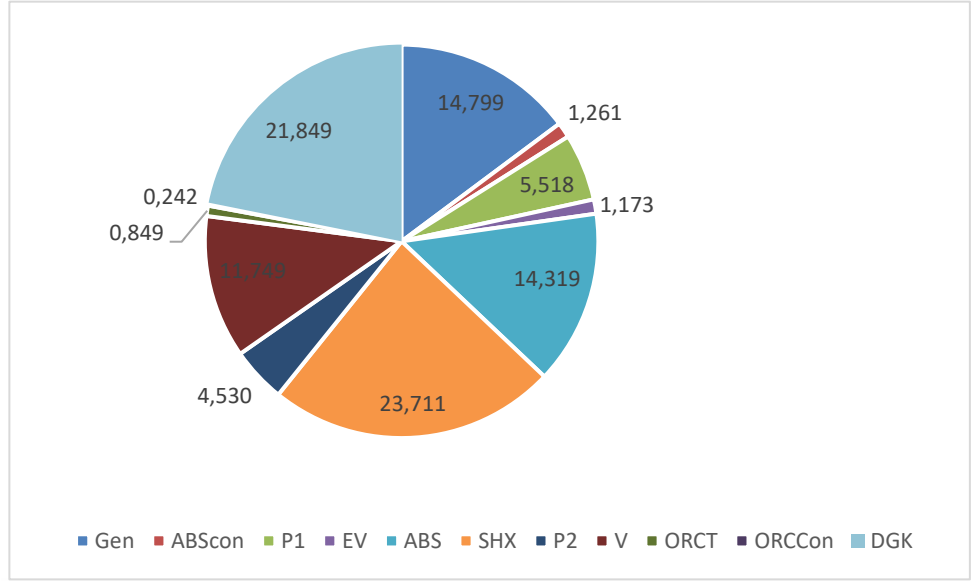
Şekil 13'te, ekserji açısından en iyi iş akışkanını tahmin etmek amacıyla beş farklı ORÇ iş akışkanı için önerilen sistemin genel ekserji verim değerleri karşılaştırılmıştır. Tablo 16 ve Şekil 4'te en iyi ORÇ iş akışkanı olarak belirlenen R123 için önerilen sistemin geleneksel ekserji analizi sonuçları gösterilmiştir. Tablo 16'daki sonuçlardan açıkça görüleceği üzere, önerilen sistem için toplam ekserji yıkım akımı 5853,89 kW olarak belirlenmiştir. Şekil 4'te, tüm sistemin ekserji yıkım akımı dağılımı her bileşen yüzdesi üzerinden gösterilmiştir. Şekil 14'e göre, SHX ve DGK, sırasıyla %23,711 ve %21,849 ile ekserji yıkımına en çok katkıda bulunan bileşenler olmuştur. Diğer taraftan, ORCcon ve ORCT sırasıyla %0,242 ve %0,849 ile en düşük ekserji yıkım akımına sahip bileşenler olmuşlardır. Bu gözlemlere dayanarak, bileşen iyileştirme öncelik tablosu Tablo 17'de tanıtılmıştır.



Şekil 13. Seçilen beş farklı ORÇ iş akışkanı için önerilen sistemin toplam ekserji verimliliği sonuçlarının karşılaştırılması.

Tablo 16. Önerilen sistem için geleneksel ekserji analizi sonuçları.

| Bileşen | Ekserji ürün akımı, $\dot{E}x_p [kW]$ | Ekserji yakıt akımı, $\dot{E}x_F [kW]$ | Ekserji yıkım akımı, $\dot{E}x_D [kW]$ | Ekserji verimliliği, $\eta_{ex}$ | Tüm sistemin ekserji verimliliği, $\eta_{ex.OAS}$ |
|---------|---------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------|
| Gen     | 842,30                                | 1709                                   | 866,30                                 | 0,49                             |                                                   |
| ABScon  | 267,90                                | 314,80                                 | 73,83                                  | 0,78                             |                                                   |
| P1      | 37,77                                 | 360,80                                 | 323                                    | 0,10                             |                                                   |
| EV      | 776,80                                | 845,50                                 | 68,67                                  | 0,92                             |                                                   |
| ABS     | 569,80                                | 1408                                   | 838,20                                 | 0,40                             |                                                   |
| SHX     | 24642                                 | 26030                                  | 1388                                   | 0,95                             |                                                   |
| P2      | 95,61                                 | 360,80                                 | 265,20                                 | 0,27                             |                                                   |
| V       | 26030                                 | 26718                                  | 687,80                                 | 0,97                             |                                                   |
| ORCT    | 1000                                  | 1050                                   | 49,72                                  | 0,95                             |                                                   |
| ORCcon  | 45,92                                 | 60,09                                  | 14,17                                  | 0,76                             |                                                   |
| DGK     | 16,43                                 | 1295                                   | 1279                                   | 0,01                             | 0,95                                              |



Şekil 14. Her bir bileşen yüzdesi üzerinden tüm sistemin ekserji yıkım akımı dağılımı.

Tablo 17. Bileşen iyileştirme öncelik tablosu.

|                        |      | Derece |
|------------------------|------|--------|
| Birinci Sırada Öncelik | SHX  | 1      |
|                        | FPSC | 2      |
|                        | Gen  | 3      |
|                        | ABS  | 4      |
| İkinci Sırada Öncelik  | P1   | 1      |
|                        | P2   | 2      |

Önerilen sistem için ileri ekserji analizi sonuçları Tablo 18-20 ve Şekil 15-16'da gösterilmiştir. Bileşenlerin içsel, dışsal, kaçınılmaz ve kaçınılabılır ekserji yıkım akımları Tablo 18'de özetlenmiş, Tablo 19'da kaçınılmaz ve kaçınılabılır ekserji yıkım akımlarının içsel ve dışsal bileşenleri gösterilmiştir. Tablo 20'de, diğer sistem bileşenlerinin her bileşenin dışsal ekserji yıkım akımlarına katkılarını gösterilmiştir. Her bileşenin toplam ekserji yıkımı üzerindeki kaçınılmaz ve kaçınılabılır ekserji yıkım payı ayrıca Şekil 15'te gösterilmiştir. Şekil 15'e göre, sadece P1 ve DGK için kaçınılmaz ekserji yıkımı, kaçınılmazdan daha yüksek hale gelmiştir. Diğer tüm bileşenler için kaçınılmaz bileşen daha baskın olup özellikle EV, SHX, P2 ve ORCT için kaçınılmaz ekserji yıkım akımı bileşenlerin toplam

ekserji yıkımının %95'inin üzerinde bir paya sahip olmuştur. Ayrıca, FPSC ve P1, tüm bileşenler içerisinde en yüksek ve orta dereceli kaçınılamaz ekserji yıkım değerlerini oluşturmuştur. Her bileşenin içsel ve dışsal ekserji yıkım akımı payları Şekil 16'da sunulmuştur. Burada dışsal ekserji yıkım akımı bileşeni yalnızca SHX ve P2 için içsel bileşene göre daha hakim olmuştur. Bu durum, bu bileşenlerin termodinamik bakımdan bileşen bazında daha güçlü olduğunu göstermiştir. Diğer tüm bileşenler için, içsel bileşen daha hakim olup özellikle ABS için, ekserji yıkımının içsel bileşeni, bu bileşen içinde toplam ekserji yıkımının %85'in üzerinde olmuştur. Ayrıca, P1, EV, ABScon ve Gen için içsel ve dışsal bileşenler birbirine oldukça yakın değerlerde olmuştur. Tablo 20'deki sonuçlardan, Gen, V ve ORCcon'un neredeyse tüm bileşenlerin dışsal ekserji yıkımına en büyük katkıda bulunan bileşenler olduğu açıkça görülmüştür. ABScon, P1 ve EV için birleşik ekserji yıkım akımı bileşenleri ABS, P2, V, DGK ve ORCcon'un ortak eşzamanlı etkileşimlerinin varlığında ortaya çıkmıştır. Bu durum, bu bileşenlerin eşzamanlı etkileşimlerinin güçlü olması olarak yorumlanmıştır. Bu tabloda negatif değerli terimler, k. bileşenin ekserji yıkım akımını azaltacak işlemin r. bileşenin ekserji yıkım akımını arttıran durum olarak yorumlanmıştır. Bahsedilen bu durum ABScon üzerinde P1, ABScon üzerinde EV, ABS üzerinde ABScon, ABScon üzerinde V, ABScon üzerinde ORCcon, ABS üzerinde P1, EV, ABS ve Gen, Gen üzerinde P1, EV, ABS ve SHX, SHX üzerinde ABS, P2 ve Gen, P2 üzerinde ABS, SHX ve Gen, ORCT üzerinde P2, DGK üzerinde P2 ve ABScon üzerinde P2. En güçlü ve en zayıf etkiler, Gen üzerinde SHX ve ABScon üzerinde P2'de gözlemlenmiştir. Bu gözlemlerle, kimyasal ve termal reaksiyonların varlığı nedeniyle, Gen ve ORCcon'un en etkili tersinmezliklere sahip olduğunu ve bu durumun diğer bileşenlerin dışsal ekserji yıkımını da güçlü bir şekilde tetiklediği şeklinde bir sonuca varılmıştır. Bu nedenle, öncelikle Gen ve ORCcon sıcaklıklarının optimize edilmesi gerektiğine karar verilmiştir.

Tablo 18. Her bir bileşen için içsel, dışsal, kaçınılabılır ve kaçınılamaz ekserji yıkım akımları.

| Bileşen | İçsel ekserji yıkım akımı,<br>$\dot{E}_{D,k}^{EN} [kW]$ | Dışsal ekserji yıkım akımı,<br>$\dot{E}_{D,k}^{EX} [kW]$ | Kaçınılamaz ekserji yıkım akımı,<br>$\dot{E}_{D,k}^{UN} [kW]$ | Kaçınılabılır ekserji yıkım akımı,<br>$\dot{E}_{D,k}^{AV} [kW]$ |
|---------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Gen     | 560,5                                                   | 305,8                                                    | 497,9                                                         | 368,4                                                           |
| ABScon  | 53,43                                                   | 20,4                                                     | 387,1                                                         | -313,3                                                          |
| P1      | 230,3                                                   | 92,71                                                    | 104,4                                                         | 218,6                                                           |
| EV      | 48,96                                                   | 19,71                                                    | 6,867,243                                                     | -0,00243                                                        |
| ABS     | 734,6                                                   | 103,6                                                    | 1933                                                          | -1095                                                           |
| SHX     | 269,8                                                   | 1118                                                     | 1384                                                          | 3,663                                                           |
| P2      | 2,985                                                   | 262,2                                                    | 239,3                                                         | 25,9                                                            |
| V       | 817,9                                                   | -130,1                                                   | 679,3                                                         | 8,49                                                            |
| ORCT    | 187,6                                                   | -137,9                                                   | 49,72                                                         | 0,00195                                                         |
| ORCcon  | 98,94                                                   | -84,77                                                   | 184,2                                                         | -170                                                            |
| DGK     | 1372                                                    | -92,66                                                   | 45,15                                                         | 1234                                                            |

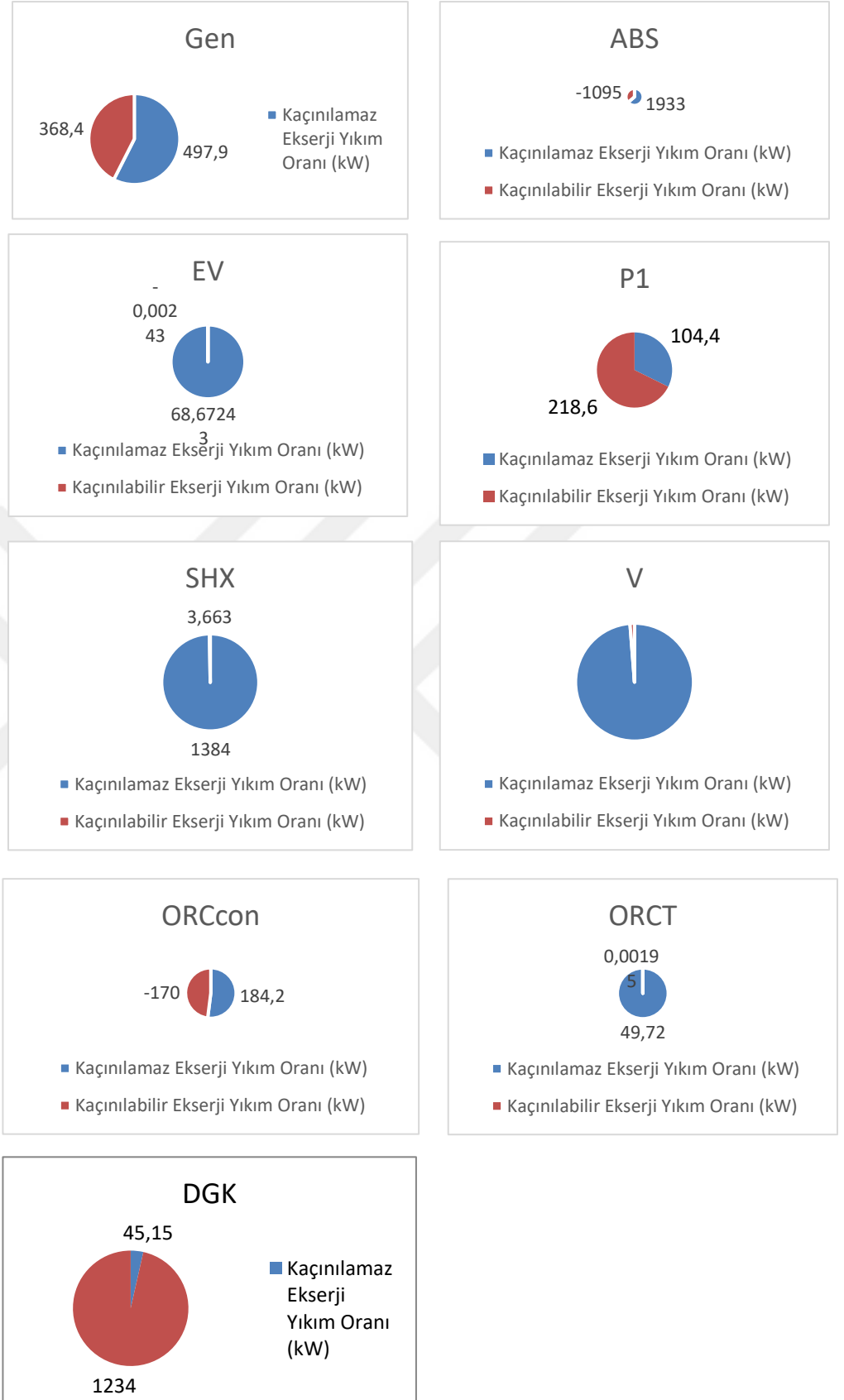
Tablo 19. Her bir bileşen için içsel ve dışsal ekserji yıkım akımlarının kaçınılabılır ve kaçınılamaz bileşenleri.

| Bileşen | Kaçınılamaz içsel ekserji yıkım akımı,<br>$\dot{E}_{D,k}^{UN,EN} [kW]$ | Kaçınılamaz dışsal ekserji yıkım akımı,<br>$\dot{E}_{D,k}^{UN,EX} [kW]$ | Kaçınılabılır içsel ekserji yıkım akımı,<br>$\dot{E}_{D,k}^{AV,EN} [kW]$ | Kaçınılabılır dışsal ekserji yıkım akımı,<br>$\dot{E}_{D,k}^{AV,EX} [kW]$ |
|---------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Gen     | 412,6                                                                  | 85,32                                                                   | 147,9                                                                    | 220,5                                                                     |
| ABScon  | 280,1                                                                  | 107                                                                     | -226,6                                                                   | -86,68                                                                    |
| P1      | 74,44                                                                  | 29,96                                                                   | 155,9                                                                    | 62,74                                                                     |
| EV      | 48,96                                                                  | 19,71                                                                   | 0,0035                                                                   | -0,0059                                                                   |
| ABS     | 1173                                                                   | 760                                                                     | -438,4                                                                   | -656,6                                                                    |
| SHX     | 4422                                                                   | 1380                                                                    | 265,4                                                                    | -261,7                                                                    |
| P2      | 2243                                                                   | 197,1                                                                   | 0,742                                                                    | 65,15                                                                     |
| V       | 650,6                                                                  | 28,66                                                                   | 167,3                                                                    | -158,8                                                                    |
| ORCT    | 4973                                                                   | 44,75                                                                   | 182,6                                                                    | 182,60                                                                    |
| ORCcon  | -96,17                                                                 | 280,4                                                                   | 195,1                                                                    | -365,1                                                                    |
| DGK     | 57,46                                                                  | -12,31                                                                  | 1315                                                                     | -80,54                                                                    |

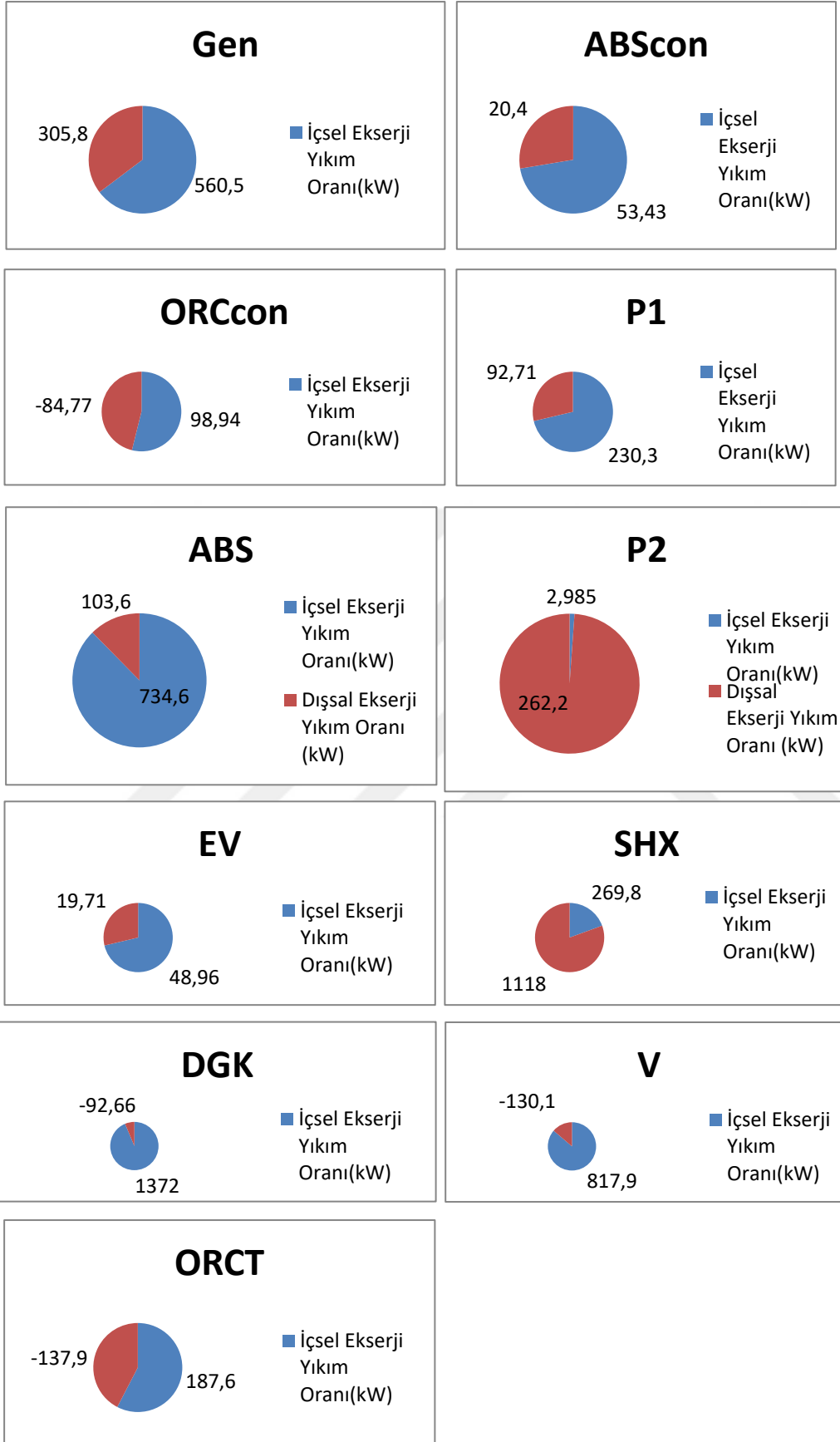
Tablo 20. Diğer sistem bileşenlerinin her bir bileşenin dışsal ekserji yıkım akımlarına katkıları.

| Bileşen,k | $\dot{E}_{D,k}^{EX}$ [kW] | Component,<br>r | $\dot{E}_{D,k}^{EX,r}$ [kW] | Component,<br>k | $\dot{E}_{D,k}^{EX}$ [kW] | Component,<br>r | $\dot{E}_{D,k}^{EX,r}$ [kW] |
|-----------|---------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|-----------------------------|
| ABScon    | 20,4                      | P1              | -0,79                       | Gen             | 305,8                     | ABScon          | 225,4                       |
|           |                           | EV              | -0,79                       |                 |                           | P1              | 87,1                        |
|           |                           | ABS             | -0,79                       |                 |                           | EV              | 166,6                       |
|           |                           | SHX             | 7,38                        |                 |                           | ABS             | 86,9                        |
|           |                           | P2              | 0,07                        |                 |                           | SHX             | -87                         |
|           |                           | V               | -0,35                       |                 |                           | P2              | -180,1                      |
|           |                           | Gen             | 32,33                       |                 |                           | V               | -86,9                       |
|           |                           | ORCT            | 0,06                        |                 |                           | ORCT            | 44,3                        |
|           |                           | ORCcon          | -20,71                      |                 |                           | ORCcon          | -190,3                      |
|           |                           | DGK             | -0,79                       |                 |                           | DGK             | 225,4                       |
| P1        | 92,71                     | ABScon          | 35,7                        | Gen             | 305,8                     | ABScon          | 225,4                       |
|           |                           | EV              | 35,7                        |                 |                           | P1              | 87,1                        |
|           |                           | ABS             | 35,7                        |                 |                           | EV              | 166,6                       |
|           |                           | SHX             | 35,7                        |                 |                           | ABS             | 86,9                        |
|           |                           | P2              | 35,4                        |                 |                           | SHX             | -87                         |
|           |                           | V               | 21,9                        |                 |                           | P2              | -180,1                      |
|           |                           | Gen             | -78,8                       |                 |                           | V               | -86,9                       |
|           |                           | ORCT            | 18,2                        |                 |                           | ORCT            | 44,3                        |
|           |                           | ORCcon          | -93,4                       |                 |                           | ORCcon          | -190,3                      |
|           |                           | DGK             | 35,7                        |                 |                           | DGK             | 225,4                       |
| EV        | 19,71                     | ABScon          | 7,59                        | Gen             | 305,8                     | ABScon          | 225,4                       |
|           |                           | P1              | 7,59                        |                 |                           | P1              | 87,1                        |
|           |                           | ABS             | 7,59                        |                 |                           | EV              | 166,6                       |
|           |                           | SHX             | 7,59                        |                 |                           | ABS             | 86,9                        |
|           |                           | P2              | 7,53                        |                 |                           | SHX             | -87                         |
|           |                           | V               | 16,71                       |                 |                           | P2              | -180,1                      |
|           |                           | Gen             | -16,75                      |                 |                           | V               | -86,9                       |
|           |                           | ORCT            | 3,83                        |                 |                           | ORCT            | 44,3                        |
|           |                           | ORCcon          | -19,85                      |                 |                           | ORCcon          | -190,3                      |
|           |                           | DGK             | -7,59                       |                 |                           | DGK             | 225,4                       |
| ABS       | 103,6                     | ABScon          | 113,9                       | Gen             | 305,8                     | ABScon          | 225,4                       |
|           |                           | P1              | 113,9                       |                 |                           | P1              | 87,1                        |
|           |                           | EV              | -113,9                      |                 |                           | EV              | 166,6                       |
|           |                           | SHX             | -113,9                      |                 |                           | ABS             | 86,9                        |
|           |                           | P2              | -122,1                      |                 |                           | SHX             | -87                         |
|           |                           | V               | 604,9                       |                 |                           | P2              | -180,1                      |
|           |                           | Gen             | -37                         |                 |                           | V               | -86,9                       |
|           |                           | ORCT            | 60                          |                 |                           | ORCT            | 44,3                        |
|           |                           | ORCcon          | -297,4                      |                 |                           | ORCcon          | -190,3                      |
|           |                           | DGK             | -113,9                      |                 |                           | DGK             | 225,4                       |
| SHX       | 1118                      | ABScon          | 803,2                       | Gen             | 305,8                     | ABScon          | 225,4                       |
|           |                           | P1              | 803,2                       |                 |                           | P1              | 87,1                        |
|           |                           | EV              | 803,2                       |                 |                           | EV              | 166,6                       |
|           |                           | ABS             | -803,2                      |                 |                           | ABS             | 86,9                        |
|           |                           | P2              | -1000                       |                 |                           | SHX             | -87                         |
|           |                           | V               | 1630,2                      |                 |                           | P2              | -180,1                      |
|           |                           | Gen             | -1634,2                     |                 |                           | V               | -86,9                       |
|           |                           | ORCT            | 732,2                       |                 |                           | ORCT            | 44,3                        |
|           |                           | ORCcon          | -1035,2                     |                 |                           | ORCcon          | -190,3                      |
|           |                           | DGK             | 803,2                       |                 |                           | DGK             | 225,4                       |
| P2        | 262,2                     | ABScon          | -0,022                      | Gen             | 305,8                     | ABScon          | 225,4                       |
|           |                           | P1              | 0                           |                 |                           | P1              | 87,1                        |
|           |                           | EV              | 0                           |                 |                           | EV              | 166,6                       |
|           |                           | ABS             | 21,178                      |                 |                           | ABS             | 86,9                        |
|           |                           | SHX             | -0,022                      |                 |                           | SHX             | -87                         |
|           |                           | V               | 126,815                     |                 |                           | P2              | -180,1                      |
|           |                           | Gen             | 126,815                     |                 |                           | V               | -86,9                       |
|           |                           | ORCT            | -0,004                      |                 |                           | ORCT            | 44,3                        |
|           |                           | ORCcon          | 0,762                       |                 |                           | ORCcon          | -190,3                      |
|           |                           | DGK             | -0,022                      |                 |                           | DGK             | 225,4                       |





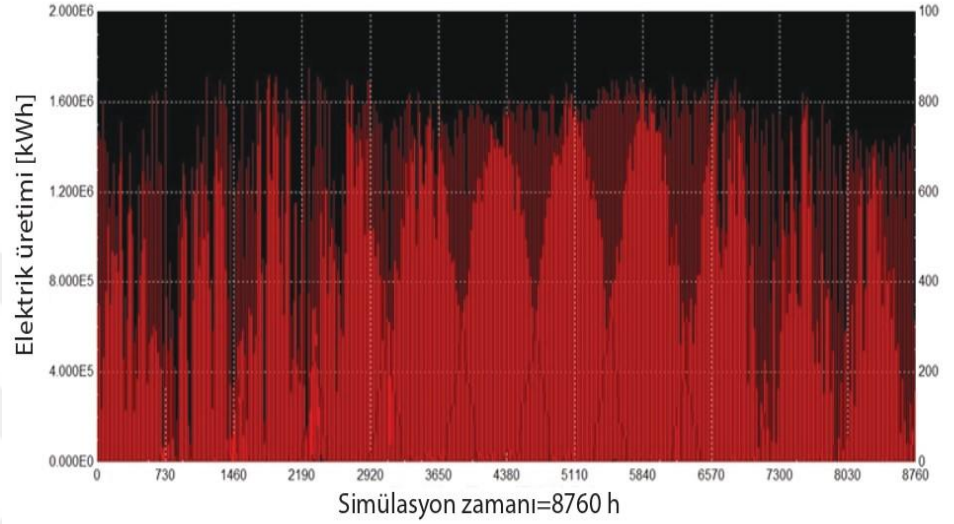
Şekil 15. Her bir bileşen için toplam ekserji yıkım akımının kaçınılabılır ve kaçınılamaz bileşen dağılımı.



Şekil 16. Her bir bileşen için toplam ekserji yıkım akımının içsel ve dışsal bileşen dağılımı.

### 3.1.5.2 TRNSYS Yıllık Simülasyon Sonuçları

TRNSYS'ten elde edilen yıllık elektrik üretimi simülasyon sonuçları Şekil 17'de gösterilmiştir. TRNSYS simülasyonuna göre toplam yıllık elektrik üretimi 2601 MWh olarak hesaplanmıştır.



Şekil 17. Önerilen sistemin İzmir şehri örneği için yıllık elektrik üretim simülasyonu.

### 3.1.5.3 Ekonomik Değerlendirme Sonuçları ve Önerilen Sistemin Benzer Ölçekli Diğer Güneş Enerjisi Santralleriyle Karşılaştırılması

Önerilen sisteme ait ekonomik değerlendirme sonuçları Tablo 21'de gösterilmiştir. Önerilen sistem, üretilen elektrik çıktısı ve ekonomik parametreler açısından benzer ölçekli mevcut güneş enerjisi santralleri ile karşılaştırıldığında, 1000 kW net türbin gücü için Saguario, Rende, Iresen ve Ougadougou ORÇ güneş enerjisi santralleri (Permana et al., 2022) ele alınmıştır. Karşılaştırılan güneş enerjisi santrallerinin TRNSYS ile modellenmesi sonucunda, yıllık elektrik üretiminin 2000 MWh-2200 MWh aralığında olduğu belirlenmiştir. Ancak, önerilen sistemin Türkiye'deki İzmir şehri örneği için yılda 2601 MWh elektrik üretilebileceği gösterilmiştir. Bu durum, simülasyonun gerçekleştirildiği konumda normal güneş ışınım seviyesindeki farklılık ve DGK ve ORÇ entegrasyonu

nedeniyle ısı kaynağının sıcaklığını artırma sürecinden kaynaklanmaktadır. Diğer yandan, karşılaştırılan güneş enerjisi santrallerinin toplam ilk yatırım maliyetlerinin yaklaşık olarak 6 ila 10 milyon ABD Doları arasında olduğu ve geri ödeme sürelerinin 10 ile 15 yıl arasında değiştiği belirlenmiştir. Önerilen sistem için bu değerler sırasıyla 3,924 milyon ABD Doları ve 4,531 yıl olarak belirlenmiştir. Bu değerler, önerilen sistemde güneş kolektörlerinin elektrik üretimindeki maliyet yükünün hafifletilebileceğini göstermiştir. Bu nedenle, önerilen sistemin güneş enerjisi ile elektrik üretimi için daha ekonomik bir güçlü alternatif olduğu ortaya koyulmuştur.

Tablo 21. Önerilen sistemin ekonomik değerlendirme sonuçları.

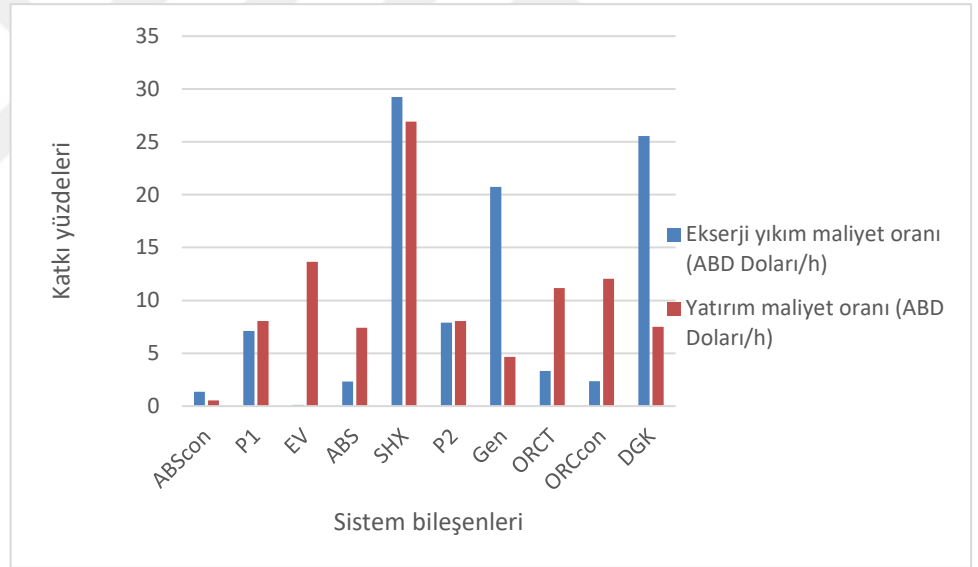
|                                                |                                                    |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| DGK kurulum maliyeti                           | 96 ABD Doları/m <sup>2</sup>                       |
| ORÇ çevrim maliyeti                            | 503241,827 ABD Doları                              |
| AIY çevrim maliyeti                            | 187488,779 ABD Doları                              |
| Toplam direkt maliyet                          | 3678751,938 ABD Doları                             |
| Toplam indirekt maliyet                        | 245250,1292 ABD Doları                             |
| Toplam maliyet                                 | 3924002,067 ABD Doları                             |
| Kapasite başına sabit bakım ve onarım maliyeti | 9 ABD Doları /kWh                                  |
| Üretim için değişken bakım ve onarım maliyeti  | 0,343 ABD Doları /MWh                              |
| Elektrik satışından yılda elde edilen gelir    | 876000 ABD Doları /yıl                             |
| Çalışma masrafları                             | 9892,143 ABD Doları /yıl                           |
| Yıllık net nakit akışı                         | 866107,857 ABD Doları /yıl                         |
| Geri ödeme süresi                              | 4,531 yıl                                          |
| Net bugünkü değer                              | 4878251,845 ABD Doları (20 yıllık proje ömrü için) |
| Seviyelendirilmiş elektrik üretim maliyeti     | 0,342 ABD Doları /kWh                              |
| İç karlılık oranı                              | %13,38                                             |

### 3.1.5.4 Eksergoekonomik Analiz Sonuçları

Önerilen sistemin geleneksel eksergoekonomik sonuçları Tablo 22 ve Şekil 18'de gösterilmiştir. Buna göre, toplam yatırım ve ekserji yıkım maliyet akımları sırasıyla 250,526 ABD Doları/saat ve 231,229 ABD Doları/saat olarak belirlenmiştir. Yatırım maliyet akımları, kaynatıcı ve buharlaştırıcı için gerekli ısı düşük sıcaklıkta güneş enerjisi aracılığıyla sağlandığından neredeyse tüm bileşenler arasında eşit bir şekilde dağılmıştır. Ancak ekserji yıkım maliyet akımları, sırasıyla %29,23, %25,55 ve %20,75'lik akımlarla Gen, FPSC ve SHX bileşenlerinde yoğunlaşmıştır. Bu durum, bu bileşenlerde güçlü termal ve/veya kimyasal süreçlerin gerçekleşmesinden kaynaklanmıştır.

Tablo 22. Önerilen sistemin geleneksel eksergoekonomik analiz sonuçları.

| Bileşen | $c_f$ (ABD Doları/GJ) | $c_p$ (ABD Doları/GJ) | $\dot{C}_d$ (ABD Doları/h) | $f_k$ |
|---------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|-------|
| ABScon  | 11,72                 | 13,53                 | 3,116                      | 0,307 |
| P1      | 14,13                 | 13,53                 | 16,43                      | 0,551 |
| EV      | 1,184                 | 13,53                 | 0,2926                     | 0,992 |
| ABS     | 1,774                 | 13,53                 | 5,353                      | 0,776 |
| SHX     | 13,53                 | 13,53                 | 67,59                      | 0,499 |
| P2      | 19,1                  | 13,53                 | 18,24                      | 0,525 |
| Gen     | 15,38                 | 13,53                 | 47,98                      | 0,196 |
| ORCT    | 43,03                 | 52,95                 | 7,702                      | 0,784 |
| ORCcon  | 106,5                 | 43,03                 | 5,435                      | 0,847 |
| DGK     | 2,44                  | 186,5                 | 59,09                      | 0,626 |



Şekil 18. Önerilen sistemin yatırım ve ekserji yıkım maliyet akımlarının bileşen bazında dağılımı.

Önerilen sistemin gelişmiş eksergoekonomik sonuçları Tablo 23-24 ile Şekil 19–21’de gösterilmiştir. Bu iki tabloda sırasıyla yatırım ve ekserji yıkım maliyet akımlarının ileri eksergoekonomik analiz temelindeki bileşenleri sunulmuştur. Önerilen sistem için toplam ekserji yıkım maliyet akımının her bir bileşen için dağılımı Şekil 19’da gösterilmiş olup bu sonuçlar ileri ekserji analizi sonuçlarını destekler nitelikte bulunmuştur. Şekil 20’de, her bir bileşen için sistem üzerindeki

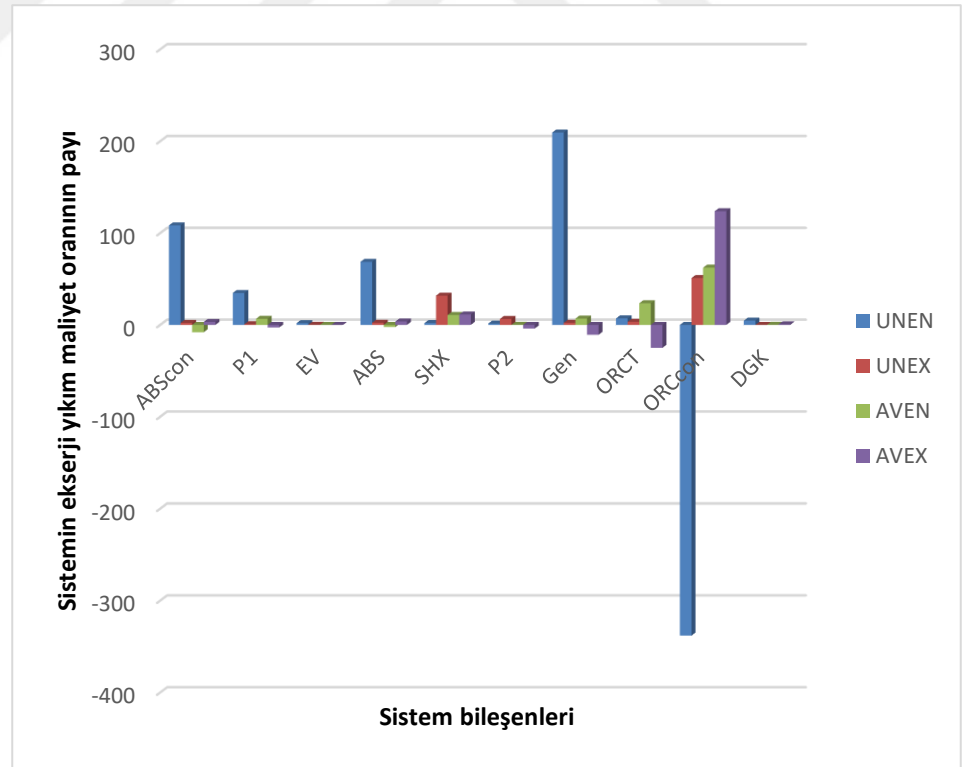
toplam yatırım maliyet akımı bileşenlerinin yüzdesi özetlenmiştir. Yatırım maliyet akımı bileşenlerinin ilgili bileşen üzerindeki dağılımı ise Şekil 21'de gösterilmiştir. Burada P1 ve SHX hariç tüm bileşenler için ortalama olarak yatırım maliyet akımının %67,504'ünün kaçınılamaz içsel bileşenden kaynaklandığı gösterilmiştir. P1'de, kaçınılamaz içsel yatırım maliyet akımının toplam maliyet akımının %54,701'ini oluşturduğu görülmüştür. Bu durum, bileşenin koşulları optimize edilerek daha yüksek bir gelişme potansiyeline ulaşabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Bu bahsedilen durum aynı zamanda SHX, EV, ABS, Gen, ORCT ve ORCcon için de geçerli olmuştur. Ancak, P2 ve FPSC'de kaçınılamaz dışsal bileşenin akımı daha yüksek olup bu durum, o bileşende daha yüksek bir gelişme potansiyeli elde etmek için sistem yapısı veya diğer bileşenlerin optimizasyonunun gerekliliğini ortaya koymuştur.

Tablo 23. Önerilen sistemin her bir bileşeninin yatırım maliyet akımının ileri eksergoekonomik analiz temelindeki bileşenleri.

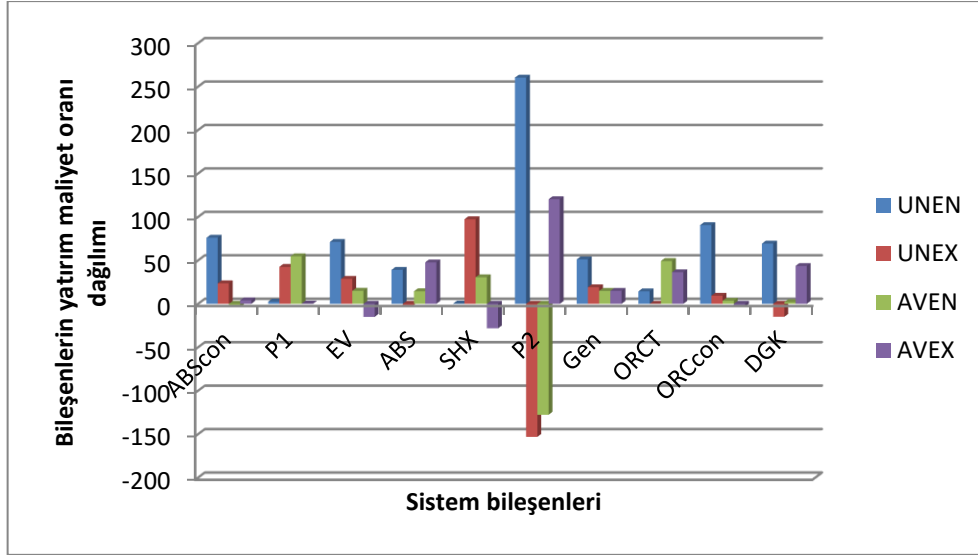
| Bileşen | $\dot{Z} \left( \frac{\$}{h} \right)$ | $\dot{Z}^{EN} \left( \frac{\$}{h} \right)$ | $\dot{Z}^{EX} \left( \frac{\$}{h} \right)$ | $\dot{Z}^{UN} \left( \frac{\$}{h} \right)$ | $\dot{Z}^{AV} \left( \frac{\$}{h} \right)$ | $\dot{Z}^{UN,EN} \left( \frac{\$}{h} \right)$ | $\dot{Z}^{UN,EX} \left( \frac{\$}{h} \right)$ | $\dot{Z}^{AV,EN} \left( \frac{\$}{h} \right)$ | $\dot{Z}^{AV,EX} \left( \frac{\$}{h} \right)$ |
|---------|---------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| ABScon  | 1,38                                  | 0,999                                      | 0,38                                       | 1,37                                       | 0,004                                      | 1,05                                          | 0,325                                         | -0,05                                         | 0,055                                         |
| P1      | 20,19                                 | 11,55                                      | 8,64                                       | 9,09                                       | 11,11                                      | 0,51                                          | 8,578                                         | 11,04                                         | 0,06                                          |
| EV      | 34,22                                 | 29,53                                      | 4,69                                       | 34,22                                      | -0,0019                                    | 24,4                                          | 9,82                                          | 5,13                                          | -5,13                                         |
| ABS     | 18,58                                 | 9,94                                       | 8,64                                       | 7,036                                      | 11,55                                      | 7,26                                          | -0,222                                        | 2,685                                         | 8,86                                          |
| SHX     | 67,39                                 | 20,8                                       | 46,59                                      | 65,79                                      | 1,61                                       | 0,21                                          | 655,799                                       | 205,89                                        | -189,90                                       |
| P2      | 20,19                                 | 26,79                                      | -6,60                                      | 21,66                                      | -1,47                                      | 52,57                                         | -30,91                                        | -25,78                                        | 24,311                                        |
| Gen     | 11,68                                 | 7,70                                       | 3,97                                       | 8,2                                        | 3,48                                       | 5,97                                          | 2,233                                         | 1,737                                         | 1,738                                         |
| ORCT    | 27,95                                 | 17,78                                      | 10,17                                      | 4,0                                        | 23,94                                      | 4,014                                         | 0                                             | 13,77                                         | 10,17                                         |
| ORCcon  | 30,16                                 | 28,39                                      | 1,78                                       | 30,13                                      | 0,031                                      | 27,34                                         | 2,79                                          | 1,05                                          | -1,01                                         |
| DGK     | 18,78                                 | 13,39                                      | 5,39                                       | 10,23                                      | 8,55                                       | 13,02                                         | -2,79                                         | 0,37                                          | 8,183                                         |

Tablo 24. Önerilen sistemin her bir bileşeninin ekserji yıkım maliyet akımının ileri eksergoekonomik analiz temelindeki bileşenleri.

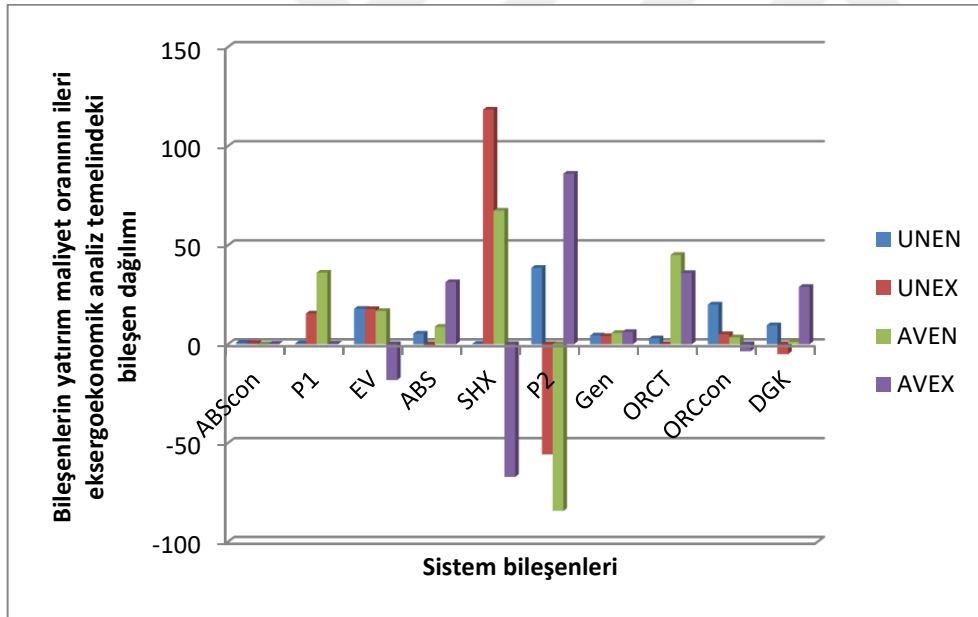
| Bileşen | $\dot{C}_d \left( \frac{\$}{h} \right)$ | $\dot{C}_d^{EN} \left( \frac{\$}{h} \right)$ | $\dot{C}_d^{EX} \left( \frac{\$}{h} \right)$ | $\dot{C}_d^{UN} \left( \frac{\$}{h} \right)$ | $\dot{C}_d^{AV} \left( \frac{\$}{h} \right)$ | $\dot{C}_d^{UN,EN} \left( \frac{\$}{h} \right)$ | $\dot{C}_d^{UN,EX} \left( \frac{\$}{h} \right)$ | $\dot{C}_d^{AV,EN} \left( \frac{\$}{h} \right)$ | $\dot{C}_d^{AV,EX} \left( \frac{\$}{h} \right)$ |
|---------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| ABScon  | 3,116                                   | 2,255                                        | 0,8611                                       | 16,34                                        | -13,22                                       | 11,82                                           | 4,516                                           | -9,565                                          | -3,659                                          |
| P1      | 16,43                                   | 10,34                                        | 4,716                                        | 5,311                                        | 11,12                                        | 3,787                                           | 1,524                                           | 7,93                                            | 3,191                                           |
| EV      | 0,292                                   | 0,208                                        | 0,08399                                      | 0,2926                                       | -0,000010                                    | 0,209                                           | 0,084                                           | 0,000015                                        | -0,000025                                       |
| ABS     | 5,353                                   | 4,691                                        | 0,6616                                       | 12,34                                        | -6,993                                       | 7,491                                           | 4,854                                           | -2,8                                            | -4,193                                          |
| SHX     | 67,59                                   | 13,14                                        | 54,44                                        | 67,4                                         | 0,1784                                       | 0,2153                                          | 67,2                                            | 12,92                                           | -12,74                                          |
| P2      | 18,24                                   | 0,2053                                       | 18,03                                        | 16,46                                        | 1,781                                        | 0,1543                                          | 13,56                                           | 0,05103                                         | 4,481                                           |
| Gen     | 47,98                                   | 31,04                                        | 16,94                                        | 27,58                                        | 20,4                                         | 22,85                                           | 4,725                                           | 8,191                                           | 12,21                                           |
| ORCT    | 7,702                                   | 29,06                                        | -21,36                                       | 7,702                                        | 0,0003021                                    | 0,7704                                          | 6,933                                           | 28,29                                           | 28,29                                           |
| ORCCon  | 5,435                                   | 37,95                                        | -32,51                                       | 70,65                                        | -65,21                                       | -36,89                                          | 107,6                                           | 74,83                                           | -140                                            |
| DGK     | 11,23                                   | 12,05                                        | -0,8138                                      | 0,3966                                       | 10,84                                        | 0,5047                                          | -0,108                                          | 0,115                                           | -0,707                                          |



Şekil 19. Önerilen sistem için toplam ekserji yıkım maliyet akımının her bir bileşen için dağılımı.



Şekil 20. Her bir bileşen için sistem üzerindeki toplam yatırım maliyet akımı bileşenlerinin dağılımı.



Şekil 21. Yatırım maliyet akımı bileşenlerinin ilgili bileşen üzerindeki dağılımı.

### 3.1.5.5 Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik Analizi Sonuçları

Önerilen sistemin çevresel etki ve sürdürülebilirlik analizi sonuçları Tablo 25 ve 26'da gösterilmiştir. Sonuçlara göre, seviyelendirilmiş güç çıktısı kapasitesine



eşdeğer  $CO_2$  salımı 0,1022 t/MWh olarak belirlenmiştir. Bu değerin benzer ölçekli güneş enerjisi santralleri için önceki literatür çalışmalarında 0,4 ile 0,6 aralığında bulunduğu saptanmıştır (Bet Sarkis ve Zare, 2018; Jie Ling et al., 2022). Bu durum, daha yüksek ekserjitik verimliliğe ve daha düşük ekonomik maliyetlere sahip temiz enerji teknolojilerinin kullanımından kaynaklanmıştır. Bu nedenle, önerilen sistemin eksergo-çevresel açıdan klasik güneş enerjisi santrallerine iyi bir alternatif oluşturduğu öngörülmüştür.

Tablo 25. Önerilen sistem için çevresel etki analizi sonuçları.

|                                                                |        |
|----------------------------------------------------------------|--------|
| Önerilen sistemden çevreye yayılan toplam $CO_2$ emisyonu (kg) | 265,75 |
| Seviyelendirilmiş güç çıkışına eşdeğer $CO_2$ emisyonu (t/MWh) | 0,102  |

Tablo 26. Önerilen sistem için sürdürülebilirlik analizi sonuçları.

| Bileşen    | Ekolojik etki faktörü, <i>EcoEF</i> | Ekserjitik sürdürülebilirlik indeksi index, <i>EXSI</i> | Sosyo-ekolojik faktör, <i>SEF</i> |
|------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Gen        | 2,03                                | 0,97                                                    | 1,97                              |
| ABScon     | 1,28                                | 3,34                                                    | 4,63                              |
| P1         | 9,55                                | 0,12                                                    | 1,12                              |
| EV         | 1,09                                | 11,31                                                   | 12,32                             |
| ABS        | 2,47                                | 0,68                                                    | 1,68                              |
| SHX        | 1,06                                | 17,75                                                   | 18,76                             |
| P2         | 3,77                                | 0,36                                                    | 1,361                             |
| V          | 1,03                                | 37,85                                                   | 38,91                             |
| ORCT       | 1,05                                | 20,12                                                   | 21,1                              |
| ORCcon     | 1,31                                | 3,241                                                   | 4,24                              |
| DGK        | 78,8                                | 0,013                                                   | 1,01                              |
| Tüm sistem | 1,05                                | 9,79                                                    | 21,05                             |

### 3.1.5.6 Performans Değerlendirmesi ve Geliştirme Potansiyeli Sonuçları

Önerilen sistem, geleneksel ve tamamen bu tez kapsamında geliştirilen özgün sistem performans parametreleri ile değerlendirilmiştir. Geleneksel performans parametreleri için sonuçlar Tablo 27'de gösterilmiştir. Bununla birlikte, Tablo

28’de, özgün performans indisleri temel alınarak performans değerlendirme sonuçları sunulmuştur. Ayrıca, önerilen özgün önceliklendirme yöntemi de bu sistem üzerine uygulanmıştır. Performans değerlendirmelerini özgün önceliklendirme metodolojisi ile birleştirme sonucunda, ABScon, P1, P2, ABS, Gen ve ORCcon bileşenlerinin tüm sistemin iyileştirme potansiyelini artırmak için yüksek önceliğe sahip olduğu görülmüştür. Burada söz konusu bileşenler, sadece güçlü termal ve/veya kimyasal reaksiyonların varlığı nedeniyle kendilerinde yüksek bir ekserji yıkım akımına sahip olmakla kalmayıp aynı zamanda diğer bileşenler için de önemli ölçüde tersinmezliğe neden olmuşlardır. Bu nedenle, bu önerilen sistemi termodinamik açıdan iyileştirmek için hem ilgili bileşen koşulları hem de sistem yapısı optimizasyonunun uygulanması gerektiği sonucuna varılmıştır. Burada dikkate alınması gereken başka bir nokta da, ABS ve Gen bileşenlerinin ekserji yıkım aktiviteleri açısından birbirine zıt davranış sergilemiş oldukları olmuştur.

Tablo 27. Önerilen sistemin geleneksel performans parametre sonuçları.

| Bileşen | $\eta_{ex}$ | $\eta_{ex,mod}$ | $y_D$    | $y_D^{adv}$            | $f$    | $f^{AV,EN}$ |
|---------|-------------|-----------------|----------|------------------------|--------|-------------|
| ABScon  | 0,784       | 0,876           | 0,01261  | 0,03871                | 0,3067 | 0,005252    |
| P1      | 0,1047      | 0,1952          | 0,05518  | 0,02663                | 0,5514 | 0,582       |
| EV      | 0,9188      | 1.000           | 0,01173  | $5,899 \times 10^{-7}$ | 0,9915 | 1.000       |
| ABS     | 0,4047      | 0,587           | 0,1432   | 0,07489                | 0,7764 | 0,042       |
| SHX     | 0,9467      | 0,9893          | 0,2371   | 0,04534                | 0,4933 | 0,6144      |
| P2      | 0,265       | 0,9922          | 0,0453   | 0,0001268              | 0,5254 | 0,983       |
| Gen     | 0,493       | 0,8507          | 0,148    | 0,02527                | 0,1957 | 0,175       |
| ORCT    | 0,9526      | 0,947           | 0,008493 | 0,03119                | 0,784  | 0,3273      |
| ORCcon  | 0,7642      | 0,1905          | 0,002421 | 0,033                  | 0,8473 | 0,01384     |
| DGK     | 0,01269     | 0,01203         | 0,2185   | 0,2246                 | 0,6257 | 0,7621      |

Tablo 28. Önerilen sistemin geliştirilen özgün indisler temelinde performans parametre sonuçları.

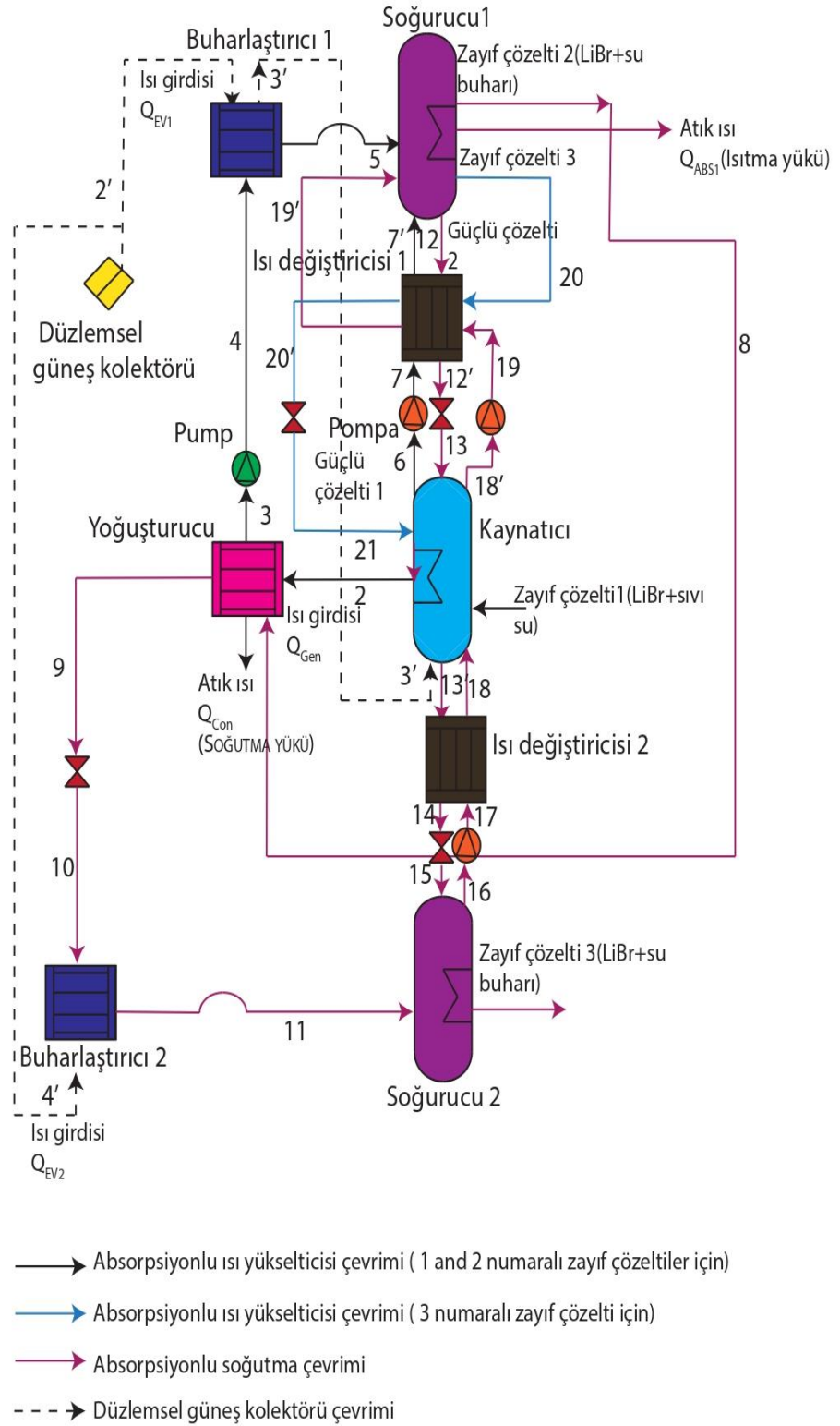
| Bileşen,k | $\eta_{ex,EN,k}$ | $\eta_{ex,EX,k}$ | $\eta_{ex,UN,k}$ | $\eta_{ex,AV,k}$ | $ETIExPR,k$ | $UNExFR,k$ | $AVExFR,k$ | UPI   |
|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|------------|------------|-------|
| Gen       | 0,555            | 0,321            | 0,658            | 0,241            | 0,207       | 0,853      | 0,284      | 0,711 |
| ABScon    | 0,784            | 0,784            | 0,396            | 0,043            | 0,382       | 2,036      | -          | 0,575 |
| P1        | 0,105            | 0,105            | 0,822            | 0,67             | 0,403       | 1,626      | 1,838      | 0,962 |
| EV        | 0,919            | 0,919            | 0,919            | -                | 0,403       | 1          | -          | 0,081 |
| ABS       | 0,32             | 0,684            | 0,148            | 0,176            | 0,648       | 1,611      | -          | 0,77  |
| SHX       | 0,226            | 0,956            | 0,947            | 0,45             | 312,153     | 1          | 0          | 0,048 |
| P2        | 0,265            | 0,265            | 0                | 1,372            | 87,857      | 0,663      | -          | 0,867 |
| V         | 0,968            | 1,134            | 0,975            | -                | 0,044       | 1          | 0          | 0,015 |
| ORCT      | 0,842            | -                | 0,953            | -                | 0           | 1          | 0          | 0,042 |
| ORCcon    | 0,296            | -                | 0,2              | -                | 0,102       | 3,83       | -          | 0,603 |
| DGK       | 0,012            | -                | 0,267            | -                | 0           | 0,048      | 0,953      | 1     |

### 3.2 Güneş Enerjisi ve Absorpsiyon Teknolojisi ile Yüksek Kapasiteli Soğutma ve Isıtma Yüklerinin Daha Ekonomik Yoldan Eldesi İçin Geliştirilen Özgün Sistem

#### 3.2.1 Önerilen Sistemin Tanıtımı

Bu tez çalışması kapsamında, yüksek kapasiteli soğutma ve ısıtma yüklerinin eldesi için literatürde geliştirilen sistemlerden farklı olarak bu üretim çıktılarının daha düşük atık ısı sıcaklık kaynağı (70°C – 90°C) ve tek kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemi kullanımıyla, daha sade ve ekonomik bir sistem tasarımıyla ve daha yüksek soğutma performans katsayısı (COP) ile sağlanabileceği özgün bir sistem tasarımı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu özgün sistem tasarımı literatürdeki iki temel boşluğu kapatmak amacıyla literatüre önerilmiştir. Bunlardan ilki, yüksek kapasiteli soğutma ve ısıtma yüklerini elde edebilmek için yüksek atık ısı sıcaklık kaynağına (120 °C-175 °C) ihtiyaç duyulması ve yüksek sistem maliyetlerinin ortaya çıkmasıdır. İkincisi ise tek kademeli absorpsiyonlu soğutma sistemi kullanımı durumunda COP değerinin birin altında kalmasıdır. Bahsedilen bu iki

temel açığı kapatmak için DGK, AIY ve ASÇ sistemlerinin birbiriyle entegrasyonu yoluyla yüksek kapasiteli ısıtma ve soğutma yüklerinin güneş enerjisi ve absorpsiyon teknolojisi desteği ile elde edilebileceği özgün bir sistem tasarımı geliştirilmiş olup bu sisteme ait şematik diyagram Şekil 22’de gösterilmiştir. Bu konfigürasyonda, AIY ve ASÇ sistemleri için LiBr-su çözeltisi kullanılmıştır. Önerilen bu özgün sistemle 4 MW soğutma ve ısıtma kapasitesi hedeflenmiştir. Bu sistemi çalıştırmak için DGK'nin entegrasyonu ile kaynatıcı (Gen) ve AIY sistemi buharlaştırıcısının (EV1) ısı gereksinimlerini karşılamak yeterli olmuştur. DGK'nin sıcaklığı (70°C-90°C) sıcaklık seviyesine ulaşabildiğinden, bu sistem aracılığıyla düşük sıcaklık seviyeli atık ısı kaynağı ile yüksek kapasiteli ısıtma ve soğutma yüklerini elde etmek mümkün olmuştur. Ayrıca, bu yaklaşımla AIY sistemi maliyeti azaltılmıştır. ASÇ sisteminin maliyetini azaltmak için, AIY çevrimi tamamlanmadan önce AIY sistemi soğurucusundan (ABS1) çıkan yüksek sıcaklıktaki LiBr-su çözeltisinin kullanımıyla AIY ve ASÇ sistemleri birbirine entegre edilmiştir. Bu yüksek sıcaklıktaki LiBr-su çözeltisi doğrudan yoğunlaştırıcıya gönderilmiş ve yoğunlaştırıcıdan doymuş sıvı olarak çıkan su ASÇ sistemi buharlaştırıcısına entegre edilmiştir. Isıtma yükü, kaynatıcıdaki çözeltinin tekrardan ABS1’e gönderilip soğutma çevriminin ardından AIY çevriminin tamamlanmasıyla üretilmiştir. Bu şekilde ASÇ sisteminde ek bir kaynatıcının kullanımı engellenirken ek maliyet ve ısı kaynağı gereksinimlerinden de tasarruf edilmiştir. Ayrıca, ASÇ sisteminde kaynatıcı kullanımının engellenmesi nedeniyle COP değeri 1'in üzerine çıkarılmıştır. Gen ve EV1 sıcaklıkları, DGK entegrasyonu nedeniyle 80°C olarak seçilmiştir. ABS1, yoğunlaştırıcı (Con), ASÇ sistemi buharlaştırıcısı (EV2) ve soğurucusu (ABS2) sıcaklıkları, klasik PV sistemine dayalı absorpsiyonlu soğutma sistemi için elde edilen COP değerinin %40-%50 oranında daha fazlasını sağlamak amacıyla parametrik bir çalışma yapılarak sırasıyla 140°C, 40°C, 10°C ve 25°C olarak belirlenmiştir. Bu şekilde kıyaslanabilir güneş enerjisi ve absorpsiyon teknoloji destekli soğutma-ısıtma sistemi oluşturulmuştur. Yüksek kapasiteli soğutma yüklerinin elde edildiği literatürdeki mevcut soğutma tesislerinde, soğutma yükü genellikle yüksek başlangıç yatırımı ve yıllık maliyetlerle gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle, ASÇ, DGK ve AIY sistemlerini birleştirerek, geleneksel soğutma tesislerinden farklı olarak yüksek kapasiteli soğutma ve ısıtma yüklerinin daha ekonomik ve çevre dostu bir şekilde üretilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 22. AIY, DGK ve ASC sistemleri entegrasyonuna dayalı olarak yüksek kapasiteli ısıtma ve soğutma yükleri için önerilen sisteme ait şematik diyagram.

### 3.2.2 Önerilen Sistemdeki Prosesin Tanıtımı

Gen'de, zayıf LiBr-su çözeltisinin içerisindeki suyun büyük bir bölümü kaynatılır ve çözeltiyi zenginleştirmek için 2 numaralı akımla birlikte Con'a gönderilir. Con'dan çıkan su, doymuş sıvı olarak 3 numaralı akımla pompaya (P1) iletilir ve buradan 4 numaralı akımla EV1'e gönderilerek buradan doymuş buhar fazında çıkar. Buhar, 5 numaralı akımla EV1 üzerinden ABS1'e gönderilir. Gen'de absorbent maddece zenginleşen çözelti, çözelti pompası (P2) ve ısı değiştirici (SHX1) üzerinden geçirilerek ABS1'e iletilir. ABS1'de buharın ve zengin çözeltinin karıştırılması sonucunda yüksek sıcaklıklı zayıf LiBr-su çözeltisi elde edilir. Yüksek sıcaklıklı çözeltinin büyük bir kısmı, çözeltiyi ABS1'de daha zengin hale getirmek için 8 numaralı akımla Con'a gönderilir. Con'dan çıkan sıvının doymuş sıvı fazındaki basıncı, 9 ve 10 numaralı akımlardaki genleşme valfi (V3) ile EV2'nin basıncına düşürülür. EV2'den çıkan doymuş buhar, 11 numaralı akımla ABS2'ye iletilir. ABS1'de zenginleşen çözelti, 12 ile 15 numaralı akımlarla genleşme valfleri (V2 ve V4) aracılığıyla ABS2'ye gönderilir. ABS2'de buhar ve zengin çözeltinin karıştırılmasıyla zayıf LiBr-su çözeltisi elde edilir. Bu çözeltinin 16, 17 ve 18 numaralı akımlarla çözelti pompası (P4) ve ısı değiştiricisi (SHX2) aracılığıyla Gen'e iletilmesiyle ASÇ tamamlanır ve böylece 4000 kW'lık soğutma yükü elde edilir. 4000 kW'lık ısı yükünü elde etmek için AIY döngüsünün tamamlanması gerekmektedir. Gen'e iletilen zayıf çözelti, 19 ve 20 numaralı akımlarla çözelti pompası (P3) ve SHX1'den geçirilerek tekrar ABS1'e iletilir. ABS1'deki çözeltinin SHX1 üzerinden genleşme valfi (V1) aracılığıyla 21 numaralı akımla tekrar Gen'e iletilmesiyle AIY çevrimi tamamlanır ve 4000 kW'lık ısı yükü elde edilmiş olur.

### 3.2.3 Önerilen Sistemin Akış Diyagramı Simülasyonu

Önerilen sistem Engineering Equation Solver (EES) paket programı kullanılarak simüle edilmiş ve bu simülasyon için Tablo 29'da detaylı olarak gösterilen sistem tasarım parametreleri ve kabul edilen varsayımlar kullanılmıştır. Bu termodinamik model temel alınarak önerilen sistemin akış diyagramı simülasyon sonuçları Tablo 30'da gösterilmiştir.

Tablo 29. Önerilen sistem için belirlenen tasarım parametreleri ve kabul edilen varsayımlar.

| Tasarım parametreleri                                |                                                      | Varsayımlar                                                                         |                                                                          |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| AIY sistemi                                          | ASÇ sistemi                                          | AIY sistemi                                                                         | ASÇ sistemi                                                              |
| Kaynatıcı sıcaklığı:<br>80 °C                        | Buharlaştırıcı sıcaklığı: 10 °C                      | Su, yoğunlaştırıcıya doymuş sıvı fazında terk eder.                                 | Su, yoğunlaştırıcıya doymuş sıvı fazında terk eder..                     |
| Yoğuşturucu sıcaklığı: 40 °C                         | Soğurucu sıcaklığı: 25 °C                            | Su, buharlaştırıcıdan doymuş buhar fazında çıkar.                                   | Su, buharlaştırıcıyı doymuş buhar fazında terk eder.                     |
| Buharlaştırıcı sıcaklığı: 80 °C                      | Çözeltili ısı değiştiricisi sıcaklığı: 55 °C         | LiBr-su çözeltisi, soğurucu basıncı ve sıcaklığında soğurucudan ayrılır.            | LiBr-su çözeltisi, soğurucu basıncı ve sıcaklığında soğurucudan ayrılır. |
| Soğurucu sıcaklığı: 140 °C                           | Soğutkan-absorbent madde karışımı: LiBr-su çözeltisi | LiBr-su çözeltisi kaynatıcıdan soğurucu basıncı ve sıcaklığında ayrılır.            |                                                                          |
| Çözeltili ısı değiştiricisi sıcaklığı: 135 °C        |                                                      | Su kaynatıcıdan kaynatıcı sıcaklığında ayrılır.                                     |                                                                          |
| Soğutkan-absorbent madde karışımı: LiBr-su çözeltisi |                                                      | Kinetik ve potansiyel enerjideki değişimler ihmal edilmiştir.                       |                                                                          |
|                                                      |                                                      | Sistem kararlı durumda çalışmaktadır.                                               |                                                                          |
|                                                      |                                                      | Bileşenlerin çevreye ısı yayılımı dikkate alınmamıştır.                             |                                                                          |
|                                                      |                                                      | Pompalar ve vanalar hariç tüm bileşenlerdeki gerilim değişimi dikkate alınmamıştır. |                                                                          |

Tablo 30. Önerilen sistem için akış diyagramı simülasyon sonuçları.

| Akım | $P$ [kPa] | $T$ [°C] | $\dot{m}$ $\left[\frac{kg}{s}\right]$ kg/s | $h$ $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$ kJ/kg | $s$ $\left[\frac{kJ}{kgK}\right]$ | $X$ [%] |
|------|-----------|----------|--------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|---------|
| 0    | 3,17      | 25       | 0,89                                       | 104,8                                  | 0,37                              |         |
| 1    | 3,17      | 90       | 0,89                                       | 2669                                   | 8,93                              |         |
| 2    | 7,38      | 80       | 0,89                                       | 2649                                   | 8,48                              |         |
| 3    | 7,38      | 40       | 0,89                                       | 167,5                                  | 0,57                              |         |
| 4    | 47,37     | 80       | 0,89                                       | 334,9                                  | 1,08                              |         |
| 5    | 47,37     | 80       | 0,89                                       | 2643                                   | 7,61                              |         |
| 6    | 47,37     | 140      | 16,22                                      | 319,3                                  | 0,73                              | 63,49   |
| 7    | 39,34     | 135      | 16,22                                      | 310,1                                  | 0,7                               | 63,49   |
| 8    | 7,38      | 140      | 1,7                                        | 387,4                                  | 0,31                              | 80,25   |
| 9    | 7,38      | 40       | 1,7                                        | 167,5                                  | 0,57                              |         |
| 10   | 1,23      | 10       | 1,7                                        | 167,5                                  | 8,9                               |         |
| 11   | 1,23      | 10       | 1,7                                        | 2519                                   | 8,9                               |         |
| 12   | 7,38      | 140      | 17,11                                      | 387,4                                  | 0,31                              | 80,25   |
| 13   | 180,5     | 180,5    | 17,11                                      | 387,4                                  | 0,95                              | 60,19   |
| 14   | 55        | 55       | 17,11                                      | 237,9                                  | -1,91                             | 80,25   |
| 15   | 110,8     | 110,8    | 17,11                                      | 237,9                                  | 0,73                              | 50,68   |
| 16   | 1,23      | 25       | 18,81                                      | 45,46                                  | 0,21                              | 46,1    |
| 17   | 6,07      | 55       | 18,81                                      | 113,9                                  | 0,43                              | 46,1    |
| 18   | 19        | 80       | 18,81                                      | 171,3                                  | 0,6                               | 46,1    |
| 19   | 137       | 135      | 18,81                                      | 299,3                                  | 0,94                              | 46,1    |
| 20   | 159,3     | 140      | 18,81                                      | 311,1                                  | 0,97                              | 46,1    |
| 21   | 19        | 80       | 18,81                                      | 171,3                                  | 0,6                               | 46,1    |

Burada  $P, T, \dot{m}, h, s$  ve  $X$  sırasıyla ilgili akımlardaki basınç, sıcaklık, kütleli debi, spesifik entalpi, spesifik entropi ve LiBr-su çözeltisinin LiBr konsantrasyon yüzdesi değerlerini ifade etmektedir.

### 3.2.4 Analizler

#### 3.2.4.1 Enerji Analizi

Önerilen yeni sistemin enerji analizi, Tablo 31’de belirtilen kütle ve enerji denge denklemleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bu süreçte Tablo 29’da belirtilen varsayımlar ve tasarım parametreleri kullanılmıştır. DGK’nin modellenmesi için gerekli eğim ve azimut açıları, TRNSYS kullanılarak İzmir, Türkiye şehri için belirlenen optimum eğim ve azimut açısı olarak alınmıştır. Diğer sistem ekipmanlarının TRNSYS’e entegrasyonu, EES modellemesinin dışarıdan çağırılması yoluyla gerçekleştirilmiştir.



Tablo 31. Önerilen sistem için kütle ve enerji denge denklemleri.

| Bileşen                                                                                                                                                                                         | Kütle Denge Denklemi                                                                                                                                                                                                                                        | Enerji Denge Denklemi                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gen                                                                                                                                                                                             | $\dot{m}_{18} = \dot{m}_{13} + \dot{m}_{21}$<br>$\dot{m}_{18}X_{18} = \dot{m}_{13}X_{13} + \dot{m}_{21}X_{21}$                                                                                                                                              | $\dot{Q}_{Gen} = \dot{m}_{18}h_{18} - [\dot{m}_{21}h_{21} + \dot{m}_{13}h_{13}]$                                                            |
| Con                                                                                                                                                                                             | $\dot{m}_2 = \dot{m}_3$                                                                                                                                                                                                                                     | $\dot{Q}_{Con} = \dot{m}_2(h_2 - h_3)$                                                                                                      |
| P1                                                                                                                                                                                              | $\dot{m}_3 = \dot{m}_4$                                                                                                                                                                                                                                     | $\dot{m}_3h_3 + \dot{W}_{P1} = \dot{m}_4h_4$                                                                                                |
| P2                                                                                                                                                                                              | $\dot{m}_6 = \dot{m}_7$                                                                                                                                                                                                                                     | $\dot{m}_6h_6 + \dot{W}_{P2} = \dot{m}_7h_7$                                                                                                |
| P3                                                                                                                                                                                              | $\dot{m}_{18} = \dot{m}_{19}$                                                                                                                                                                                                                               | $\dot{m}_{18}h_{18} + \dot{W}_{P3} = \dot{m}_{19}h_{19}$                                                                                    |
| P4                                                                                                                                                                                              | $\dot{m}_{16} = \dot{m}_{17}$                                                                                                                                                                                                                               | $\dot{m}_{16}h_{16} + \dot{W}_{P4} = \dot{m}_{17}h_{17}$                                                                                    |
| EV1                                                                                                                                                                                             | $\dot{m}_4 = \dot{m}_5$                                                                                                                                                                                                                                     | $\dot{Q}_{EV1} = \dot{m}_4(h_5 - h_4)$                                                                                                      |
| EV2                                                                                                                                                                                             | $\dot{m}_{10} = \dot{m}_{11}$                                                                                                                                                                                                                               | $\dot{Q}_{EV2} = \dot{m}_{10}(h_{11} - h_{10})$                                                                                             |
| ABS1                                                                                                                                                                                            | $\dot{m}_{19'19'} = \dot{m}_{20} + \dot{m}_{12}$<br>$\dot{m}_{19'19'}X_{19'19'} = \dot{m}_{20}X_{20} + \dot{m}_{12}X_{12}$                                                                                                                                  | $\dot{Q}_{ABS1} = [\dot{m}_{20}h_{20} + \dot{m}_{12}h_{12}] - \dot{m}_{19'19'}h_{19'19'}$                                                   |
| ABS2                                                                                                                                                                                            | $\dot{m}_{11} + \dot{m}_{15} = \dot{m}_{16}$<br>$\dot{m}_{15}X_{15} = \dot{m}_{16}X_{16}$                                                                                                                                                                   | $\dot{Q}_{ABS2} = \dot{m}_{16}h_{16} - [\dot{m}_{11}h_{11} + \dot{m}_{15}h_{15}]$                                                           |
| SHX1                                                                                                                                                                                            | $\dot{m}_{12} = \dot{m}_{12'12'}$<br>$\dot{m}_{20} = \dot{m}_{20'20'}$<br>$\dot{m}_7 = \dot{m}_{7'7'}$<br>$\dot{m}_{12}X_{12} = \dot{m}_{12'12'}X_{12'12'}$<br>$\dot{m}_{20}X_{20} = \dot{m}_{20'20'}X_{20'20'}$<br>$\dot{m}_7X_7 = \dot{m}_{7'7'}X_{7'7'}$ | $\dot{m}_{20}h_{20} + \dot{m}_7h_7 + \dot{m}_{12'12'}h_{12'12'} = \dot{m}_{20'20'}h_{20'20'} + \dot{m}_{7'7'}h_{7'7'} + \dot{m}_{12}h_{12}$ |
| SHX2                                                                                                                                                                                            | $\dot{m}_{13} = \dot{m}_{14}$<br>$\dot{m}_{17} = \dot{m}_{18}$<br>$\dot{m}_{13}X_{13} = \dot{m}_{14}X_{14}$<br>$\dot{m}_{17}X_{17} = \dot{m}_{18}X_{18}$                                                                                                    | $\dot{m}_{17}h_{17} + \dot{m}_{13}h_{13} = \dot{m}_{18}h_{18} + \dot{m}_{14}h_{14}$                                                         |
| V1                                                                                                                                                                                              | $\dot{m}_{20'20'} = \dot{m}_{21}$                                                                                                                                                                                                                           | $h_{20'20'} = h_{21}$                                                                                                                       |
| V2                                                                                                                                                                                              | $\dot{m}_{12'12'} = \dot{m}_{13}$                                                                                                                                                                                                                           | $h_{12'12'} = h_{13}$                                                                                                                       |
| V3                                                                                                                                                                                              | $\dot{m}_9 = \dot{m}_{10}$                                                                                                                                                                                                                                  | $h_9 = h_{10}$                                                                                                                              |
| V4                                                                                                                                                                                              | $\dot{m}_{14} = \dot{m}_{15}$                                                                                                                                                                                                                               | $h_{14} = h_{15}$                                                                                                                           |
| DGK                                                                                                                                                                                             | $\dot{m}_1 = \dot{m}_{2'2'}$                                                                                                                                                                                                                                | $\dot{Q}_{y,DGK} = \dot{m}_{2'2'}c_p(T_{2'2'} - T_1)$                                                                                       |
| Burada $\dot{W}_p[kW]$ , $c_p \left[ \frac{kJ}{kgK} \right]$ ve $\dot{Q}[kW]$ sırasıyla pompalama gücü, iş akışkanının özgül ısı değeri ve bileşenlerdeki ısı transfer hızını ifade etmektedir. |                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |

### 3.2.4.2 Ekserji Analizleri

Önerilen sistemin enerji kalitesini değerlendirmek amacıyla, termodinamiğin ikinci yasasına dayalı olarak geleneksel ve genişletilmiş ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerle, sistem bileşenlerine dayalı olarak iyileştirme potansiyeli yorumları kolaylıkla geliştirilebilmiştir.

Geleneksel eksergoekonomik analiz Tablo 32’de sunulan ekserji denge denklemleri kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bu analiz ise hem tüm sistem bazında hem de sistemi oluşturan tüm bileşenler için ayrı ayrı ekserji yıkım akımları ve ekserji verimlilikleri belirlenmiştir.



Tablo 32. Önerilen sistem için ekserji denge denklemleri.

| Bileşen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Ekserji denge denklemi                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $\dot{E}x_{d,Gen} = \dot{Q}_{Gen} \left(1 - \frac{T_0}{T_{Gen}}\right) + [\dot{m}_{18}\dot{E}x_{18} - \dot{m}_{21}\dot{E}x_{21} - \dot{m}_{13}\dot{E}x_{13}]$                                                      |
| Con                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $\dot{E}x_{d,Con} = -\dot{Q}_{Con} \left(1 - \frac{T_0}{T_{Con}}\right) + [\dot{m}_2\dot{E}x_2 - \dot{m}_3\dot{E}x_3]$                                                                                             |
| P1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $\dot{E}x_{d,P1} = \dot{W}_{P1} + [\dot{m}_3\dot{E}x_3 - \dot{m}_4\dot{E}x_4]$                                                                                                                                     |
| P2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $\dot{E}x_{d,P2} = \dot{W}_{P2} + [\dot{m}_6\dot{E}x_6 - \dot{m}_7\dot{E}x_7]$                                                                                                                                     |
| P3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $\dot{E}x_{d,P3} = \dot{W}_{P3} + [\dot{m}_{18}\dot{E}x_{18} - \dot{m}_{19}\dot{E}x_{19}]$                                                                                                                         |
| P4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $\dot{E}x_{d,P4} = \dot{W}_{P4} + [\dot{m}_{16}\dot{E}x_{16} - \dot{m}_{17}\dot{E}x_{17}]$                                                                                                                         |
| EV1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $\dot{E}x_{d,EV1} = \dot{Q}_{EV1} \left(1 - \frac{T_0}{T_{EV1}}\right) + [\dot{m}_4\dot{E}x_4 - \dot{m}_5\dot{E}x_5]$                                                                                              |
| EV2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $\dot{E}x_{d,EV2} = \dot{Q}_{EV2} \left(1 - \frac{T_0}{T_{EV2}}\right) + [\dot{m}_4\dot{E}x_{10} - \dot{m}_5\dot{E}x_{11}]$                                                                                        |
| ABS1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $\dot{E}x_{d,ABS1} = -\dot{Q}_{ABS1} \left(1 - \frac{T_0}{T_{ABS1}}\right) + [\dot{m}_{20}\dot{E}x_{20} + \dot{m}_{12}\dot{E}x_{12} - \dot{m}_{19'19'}\dot{E}x_{19'19'}]$                                          |
| ABS2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $\dot{E}x_{d,ABS2} = \dot{Q}_{ABS2} \left(1 - \frac{T_0}{T_{ABS2}}\right) + [\dot{m}_{16}\dot{E}x_{16} - \dot{m}_{11}\dot{E}x_{11} - \dot{m}_{15}\dot{E}x_{15}]$                                                   |
| SHX1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $\dot{E}x_{d,SHX1} = (\dot{m}_{20}\dot{E}x_{20} + \dot{m}_7\dot{E}x_7 - \dot{m}_{12}\dot{E}x_{12})$                                                                                                                |
| SHX2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $\dot{E}x_{d,SHX2} = (\dot{m}_{17}\dot{E}x_{17} + \dot{m}_{13}\dot{E}x_{13} - \dot{m}_{18}\dot{E}x_{18})$                                                                                                          |
| V1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $\dot{E}x_{d,V1} = (\dot{m}_{20'20'}\dot{E}x_{20'20'} - \dot{m}_{21}\dot{E}x_{21})$                                                                                                                                |
| V2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $\dot{E}x_{d,V2} = (\dot{m}_{12'12'}\dot{E}x_{12'12'} - \dot{m}_{13}\dot{E}x_{13})$                                                                                                                                |
| V3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $\dot{E}x_{d,V3} = (\dot{m}_9\dot{E}x_9 - \dot{m}_{10}\dot{E}x_{10})$                                                                                                                                              |
| V4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | $\dot{E}x_{d,V4} = (\dot{m}_{14}\dot{E}x_{14} - \dot{m}_{15}\dot{E}x_{15})$                                                                                                                                        |
| DGK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | $\dot{E}x_{d,DGK} = A_k I \left(1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_{solar}}\right)^4 - \frac{4}{3} \frac{T_0}{T_{solar}}\right) - [\dot{m}_{2'2'}c_p(T_{2'2'} - T_1) - T_0 \ln \left(\frac{T_{2'2'}}{T_1}\right)]$ |
| Burada $T_0[K]$ , $T_{solar}[K]$ , $A_k[m^2]$ , $I \left[\frac{kW}{m^2}\right]$ , $\dot{E}x[kW]$ , ve $\dot{E}x_d[kW]$ sırasıyla ölü hal ve güneş sıcaklıkları, güneş kolektörünün kesit alanı, kolektör yüzeyine gelen güneş ısıtım yoğunluğu, akımlardaki ekserji akımları ve bileşenlerdeki ekserji yıkım akımlarını ifade etmektedir. |                                                                                                                                                                                                                    |

Önerilen sistemin genişletilmiş ekserji analizi ile iş gücü, sermaye ve çevresel etki gibi faktörler kümülatif ekserji analizi kullanılarak incelenmiş ve böylece önerilen sistem için yaşam döngüsü değerlendirmeleri yapılabilmiştir. Genişletilmiş ekserji analizi temelindeki bileşenler 81-85 numaralı denklemlerle hesaplanmıştır. Bu bileşenleri hesaplamak için kümülatif ekserji ve çevresel analizler, Tablo 33'te sunulan ilgili verilerin kullanımıyla gerçekleştirilmiştir.

$$EE = E_L + E_C + E_E \quad (81)$$

$$+ E_{CEXC}$$

$$E_L = ee_L N_{wh} \quad (82)$$

$$ee_L = \frac{365 N_h Ex_{surv} f1}{N_{wh}} \quad (83)$$

Burada,  $EE, E_L, E_C, E_E, E_{CEXC}, ee_L, N_{wh}, N_h, Ex_{surv}, f1, ee_c, CC$  ve  $S1$  sırasıyla genişletilmiş ekserji içeriği, iş gücü, sermaye, çevresel iyileştirme maliyeti ve kümülatif ekserji tüketimine eşdeğer ekserji değerleri, iş gücüne ilişkin spesifik eşdeğer ekserji değeri, toplam çalışma saati, toplam çalışan kişi sayısı, yaşamsal faaliyetlerin sürdürülmesi için gerekli ekserji tüketimi, modern yaşam standardına ilişkin tüketim düzeltme faktörünü, sermayeye ilişkin spesifik eşdeğer ekserji değerini, sermaye maliyetini ve ücret ve maaşların ulusal parasal tutarını ifade etmektedir.

Tablo 33. Önerilen sistemin genişletilmiş ekserji analizinde kullanılan veriler.

|             |                            |
|-------------|----------------------------|
| $N_h$       | 84,98 milyon kişi          |
| $N_w$       | 345,45 milyon çalışan      |
| $N_{wh}$    | 75999 milyon çalışma saati |
| $Ex_{surv}$ | 10,50 MJ/(gün.kişi)        |
| $f1$        | 14,91                      |

Önerilen sistem üzerinde kümülatif ekserji tüketimi analizi, 'girdi-çıkı' yöntemi takip edilerek gerçekleştirilmiştir. Bunun için öncelikle önerilen sistem için enerji taşıyıcıları, ana ürünler, yan ürünler ve dış kaynaklar olarak tanımlanmıştır. Bu söz konusu tanımlamalar Tablo 34'te gösterilmiştir. Ardından, bu yöntemle dayalı olarak matematiksel model oluşturulmuş ve 84 numaralı denklem ile ortalama ağırlıklı ekserji tüketim indekslerine bağlı olarak matris

formundaki denklem yazılmıştır. Bu matematiksel modelde, yan ürünlerin ve dış kaynakların ana üretime ek olarak ilave edilmemesi nedeniyle 85 numaralı yardımcı denklem kullanılmıştır. Ana ürünler için kümülatif ekserji tüketimi için elde edilen vektör, 84-85 numaralı denklemler çözülerek oluşturulmuştur.

$$A_G^T ex^* + A_D^T ex_{DD}^* = ex_G^{*T} + (F^T - A_F^T) ex_F^* \quad (84)$$

$$ex^* = ex_G^* \quad (85)$$

Burada,  $A_G, A_D, A_F, F, ex^*, ex_{DD}^*, ex_G^*$  ve  $ex_F^*$  sırasıyla ana ürünler, dış kaynaklar, ana üretime dahil edilmeyen dış kaynaklar ve yan ürünler için tüketim katsayıları matrislerini, toplam, ana üretime dahil edilmeyen yan ürünler, ana ürünler, ana üretime dahil edilmeyen dış kaynaklar için kümülatif ekserji tüketimi indekslerinin vektörünü ifade etmektedir.

Tablo 34. Önerilen sistemin kümülatif ekserji tüketimi analizine ilişkin enerji taşıyıcıları tanımları.

| Enerji taşıyıcıları |                                      |    |                         |    |                                           |
|---------------------|--------------------------------------|----|-------------------------|----|-------------------------------------------|
| No                  | Ana ürünler                          | No | Yan ürünler             | No | Dış kaynaklar                             |
| 1                   | Soğutma yükü [MJ]                    | 1  | Gen'deki atık ısı [MJ]  | 1  | Zayıf LiBr-su çözeltisi akımı 1 [kg]      |
| 2                   | Zayıf LiBr-su çözeltisi akımı 2 [kg] | 2  | Con'daki atık ısı [kJ]  | 2  | Güneş kolektörüne giren saf su akımı [kg] |
| 3                   | Isıtma yükü [MJ]                     | 3  | ABS2'deki atık ısı [MJ] |    |                                           |
| 4                   | Zayıf LiBr-su çözeltisi akımı 3 [kg] |    |                         |    |                                           |

### 3.2.4.3 Çevresel Etki Analizi

Önerilen sistemle ilişkilendirilen toplam sera gazı emisyon miktarını belirlemek için çevresel analiz gerçekleştirilmiştir. Doğrudan ve dolaylı emisyonlar, 49-54 numaralı denklemler kullanılarak hesaplanmıştır.

#### 3.2.4.4 Yıllık Simülasyon için TRNSYS Modellemesi

Enerji ve ekserji analizleri ile önerilen sistem anlık olarak değerlendirilmiş, fakat bu değerlendirmeler sistemin gerçek performansına dair kapsamlı bir bilgi sunamamıştır. Bu nedenle önerilen sistemin İzmir şehrine odaklanan örneği üzerinde yapılan yıllık performans simülasyonları için bir TRNSYS modeli geliştirilmiştir. Bu modellemede DGK bileşeni doğrudan TRNSYS'ten alınmış, ancak diğer bileşenler ilgili EES modellemesinin dışarıdan çağırılması yoluyla TRNSYS'e entegre edilmiştir.

#### 3.2.4.5 Önerilen Sistemin Ekonomik Değerlendirilmesi ve Benzer Ölçekli Diğer Tesislerle Karşılaştırılması

Önerilen yeni sistemin ekonomik değerlendirmesi, sistemin etkin kullanım potansiyelini diğer benzer ölçekli sistemlerle karşılaştırmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirme, yatırım maliyeti, yıllık çalışma maliyeti, geri ödeme süresi, iç karlılık oranı, net bugünkü değer ve soğutma işlemine yönelik seviyelendirilmiş maliyet gibi faktörleri içermiştir. Ekonomik değerlendirme ve karşılaştırmalı analizin sonuçlarına göre, önerilen sistemin yüksek kapasiteli soğutma ve ısıtma ihtiyaçlarını karşılamak için diğer sistemlere kıyasla güçlü bir alternatif olarak ortaya çıktığı düşünülmüştür.

#### 3.2.4.6 Sürdürülebilirlik Analizi

Sürdürülebilirlik analizinde, önerilen sistem için sosyoekolojik faktör, ekolojik etki ve ekserjetik sürdürülebilirlik indeksi gibi ölçütler hesaplanmıştır. Bu analizde 55-57 numaralı denklemler kullanılmıştır.

### 3.2.5 Bulguların Değerlendirilmesi ve Tartışma

#### 3.2.5.1 Enerji Analizi Sonuçları

Tablo 35’te, önerilen yeni sistemin enerji analizi bulguları özetlenmiştir. Bu tabloda AIY’nin ısı etki katsayısı ve ASÇ için COP değerinin sırasıyla 0,46 ve 3,10 olduğu görülmüştür. 3,10’luk COP değeri, bu çalışmanın sistem tanıtımı kısmında belirtilen düşük sıcaklık seviyeli atık ısı kaynağı ve tek kademeli ASÇ sisteminin kullanımı ile COP değerini birin üzerine çıkartarak artırma amacına ulaştığını kanıtlamıştır. Elde edilen bu sonuç, ABS1’den çıkan yüksek sıcaklıklı LiBr-su çözeltisinin soğutma sistemine entegre edilmesiyle ASÇ sisteminde kaynatıcı kullanımının ortadan kaldırılmasından kaynaklanmıştır. Bu tablodan elde edilen sonuçlara göre, önerilen sistemi çalıştırmak için  $19233 \text{ m}^2$  ‘lik DGK alanına ihtiyaç duyulmuştur.

Tablo 35. Önerilen sistemin enerji analizi sonuçları.

| AIY çevrimi                                               |         | ASÇ çevrimi                                               |       | DGK sistemi                                              |       |
|-----------------------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------|-------|
| Sirkülasyon oranı, $f$                                    | 18,27   | Buharlaştırıcıdaki ısı transfer hızı, $\dot{Q}_{EV2}[kW]$ | 4000  | Kolektör için gerekli ısı transfer hızı, $\dot{Q}_y[kW]$ | 8678  |
| Isı tesir katsayısı, $HEC\left[\frac{s}{kJ}\right]$       | 0,46    | Performans katsayısı, $COP$                               | 3,103 | Gerekli kolektör alanı, $A[m^2]$                         | 19233 |
| Buharlaştırıcıdaki ısı transfer hızı, $\dot{Q}_{EV1}[kW]$ | 2050    |                                                           |       |                                                          |       |
| Gerekli pompalama güçleri, $\dot{W}_{P,AIY}[kW]$          | 2704,40 |                                                           |       |                                                          |       |
| Yoğuşturucudaki ısı transfer hızı, $\dot{Q}_{Con}[kW]$    |         |                                                           | 2204  |                                                          |       |
| Kaynatıcıdaki ısı transfer hızı, $\dot{Q}_{Gen}[kW]$      |         |                                                           | 6628  |                                                          |       |

### 3.2.5.2 Ekserji Analizi Sonuçları

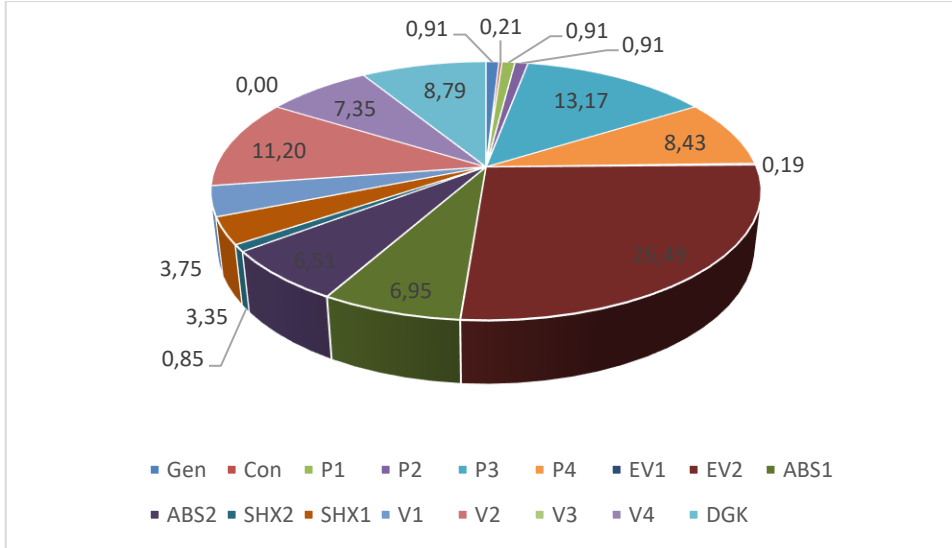
Bu çalışmada, ekserji bağlamında geleneksel, kümülatif ve genişletilmiş ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizleri uygulamak için yakıt ve ürün ekserji tanımlamaları yapılmıştır. Isıtma ve soğutma işlevleri, önerilen sistemin başlıca ürünleri olduklarından ekserjitik ürün olarak tanımlanmıştır. Bununla birlikte, önerilen sistemi çalıştırmak için pompalama gücüne dışsal olarak ihtiyaç duyulduğundan, pompa işi ekserjitik yakıt olarak belirlenmiştir.

Tablo 36 ve Şekil 23'te, önerilen sistemle ilgili geleneksel ekserji analizi sonuçları sunulmuştur. Bu sistem için Tablo 36'da toplam ekserji yıkım akımının 14442.59 kW olduğu açıkça belirtilmiştir. Burada, EV2, P3 ve V2, toplam sistem ekserji yıkım akımına en büyük katkıda bulunan bileşenler olup sırasıyla %26,72, %13,29 ve %11.29'lük akımlara sahip olmuştur. En düşük oranda katkıda bulunan bileşenler ise sırasıyla %0,21, %0,20 ve %0,0004'lük oranlarla Con, EV1 ve V3 olmuştur. Bu durum, termal reaksiyonların etkisinden kaynaklanmıştır. Geleneksel ekserji analizi sonuçlarına dayalı olarak hazırlanan her bir bileşenin ekserji yıkım ve yakıt akımlarının etkili bir ölçek kullanılarak görselleştirildiği ekserji akış ve kayıp diyagramı (aynı zamanda Grassmann diyagramı olarak da bilinir), Şekil 24'te gösterilmiştir.

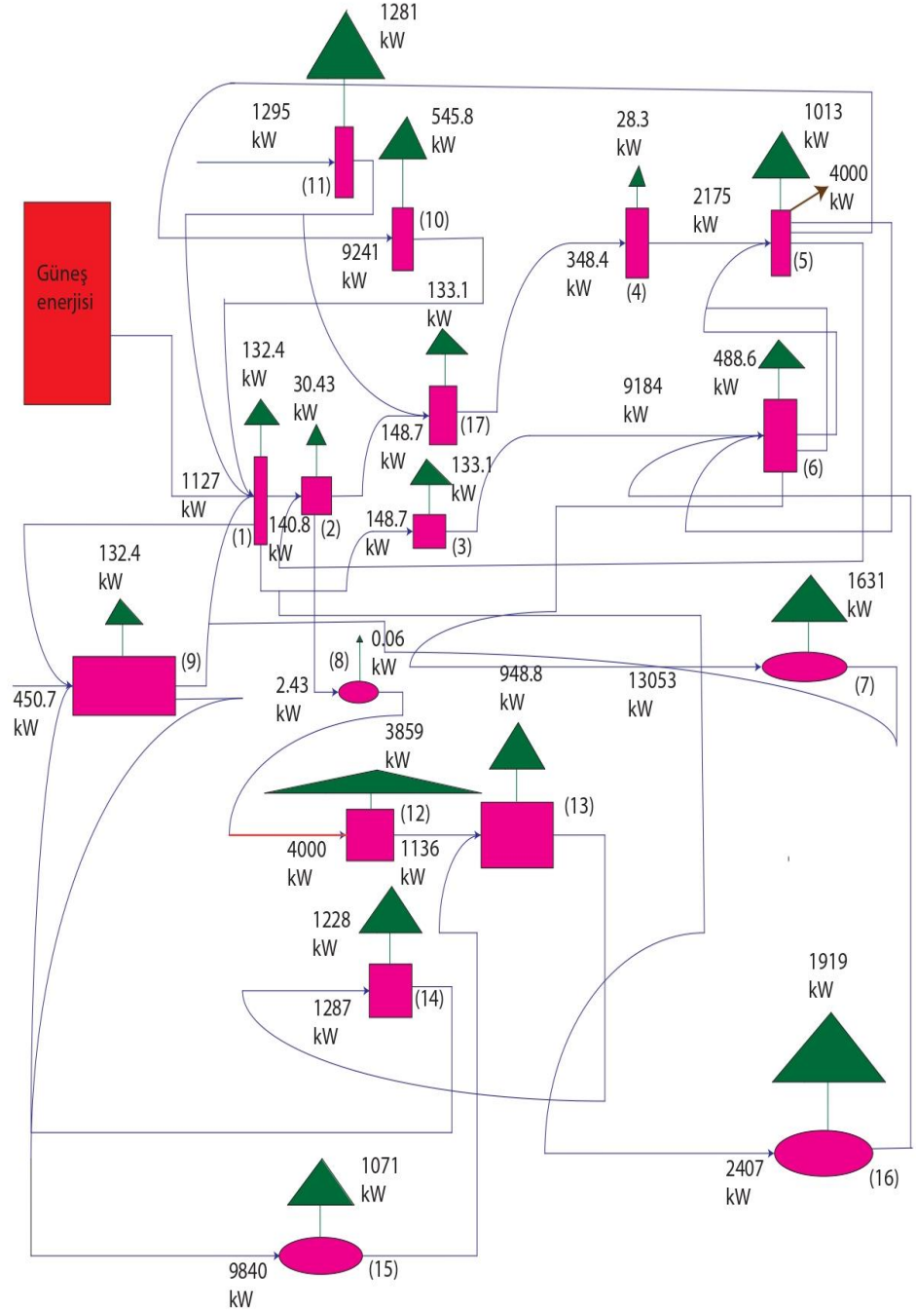


Tablo 36. Önerilen sistemin geleneksel ekserji analizi sonuçları.

| Bileşen                     | Ekserji ürün akımı, $\dot{E}x_p$ [kW] | Ekserji yakıt akımı, $\dot{E}x_F$ [kW] | Ekserji yıkım akımı, $\dot{E}x_D$ [kW] | Ekserji verimliliği, $\eta_{ex}$ |
|-----------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| Gen                         | 994,2                                 | 1127                                   | 132,4                                  | 0,88                             |
| Con                         | 110,4                                 | 140,8                                  | 30,43                                  | 0,78                             |
| P1                          | 36,43                                 | 148,7                                  | 133,1                                  | 0,11                             |
| P2                          | 36,43                                 | 148,7                                  | 133,1                                  | 0,11                             |
| P3                          | 488,6                                 | 2407,6                                 | 1919                                   | 0,2                              |
| P4                          | 58,68                                 | 1287                                   | 1228                                   | 0,05                             |
| EV1                         | 320,1                                 | 348,4                                  | 28,3                                   | 0,92                             |
| EV2                         | 141,3                                 | 4000                                   | 3859                                   | 0,04                             |
| ABS1                        | 1162                                  | 2175                                   | 1013                                   | 0,53                             |
| ABS2                        | 187,5                                 | 1136                                   | 948,8                                  | 0,17                             |
| SHX1                        | 8695                                  | 9184                                   | 488,6                                  | 0,946                            |
| SHX2                        | 8509                                  | 8633                                   | 123,7                                  | 0,9857                           |
| V1                          | 8695                                  | 9241                                   | 545,8                                  | 0,941                            |
| V2                          | 11422                                 | 13053                                  | 1631                                   | 0,88                             |
| V3                          | 2,36                                  | 2,43                                   | 0,06                                   | 0,98                             |
| V4                          | 8768                                  | 9840                                   | 1071                                   | 0,89                             |
| DGK                         | 14,37                                 | 1295                                   | 1281                                   | 0,01                             |
| Isıtma altsistemi           |                                       |                                        |                                        | 0,82                             |
| Soğutma altsistemi          |                                       |                                        |                                        | 0,76                             |
| Güneş kolektörü alt sistemi |                                       |                                        |                                        | 0,011                            |
| Tüm sistem                  |                                       |                                        |                                        | 0,74                             |



Şekil 23. Tüm sistemin ekserji yıkım akımının sistem bileşenleri arasında yüzdesel dağılımı.



(1): Gen, (2): Con (3) P2, (4): EV1, (5): ABS1, (6): SHX1, (7): V2, (8): V3, (9): SHX2, (10): V1, (11): DGK, (12): EV2, (13): ABS2, (14): P4, (15): V4, (16): P3, (17): P1

- Ekserji yakıt akımı
- Ekserji yıkım akımı
- Isıtma yükü üretim akımı
- Soğutma yükü üretim akımı

Şekil 24. Önerilen sistemin Grassmann diyagramı.

Tablo 37'de, önerilen sistem için genişletilmiş ekserji analizi bulguları sunulmuştur. Bu tablodan elde edilen verilere göre, toplam genişletilmiş ekserji içeriğinin 4222101,09 GJ olduğu ve bu içeriğin sermaye, işgücü ve çevre iyileştirme maliyeti bileşenlerine göre en çok katkı sağlayanın kümülatif ekserji tüketimi bileşeni olduğu açıkça görülmüştür. Bu durum, yüksek kapasiteli soğutma ve ısıtma yükleri sağlamak için bu önerilen sistemde en yüksek tüketimin malzeme ve enerjide gerçekleştiğini göstermiştir. Yatırım, elektrik ve çevre iyileştirme maliyeti ile ilişkili diğer tüketimler, ana ürün üretimine göre pompaların nispeten daha düşük elektrik tüketiminden dolayı daha düşük seviyede kalmıştır. Bu sonuç, önerilen sistemin yüksek kapasiteli soğutma ve ısıtma yükü sağlama amacına ulaşma eğiliminde başarılı olduğunu kanıtlamıştır. Tablo 37'den elde edilen başka bir önemli sonuç ise %43,6 olarak belirlenen genişletilmiş ekserji verimliliğinin, %74,1'lik geleneksel ekserji verimliliğinden daha düşük kalmış olmasıdır. Bu sonuç, genişletilmiş ekserji analizinde geleneksel ekserji analizinden farklı içeriklerde enerji içeriğinin yanı sıra ekserji yakıt bileşenlerinin kullanılmasından kaynaklanmıştır. Genişletilmiş ekserji analizinde, ekserji ürün akımı geleneksel ekserji analizi yaklaşımıyla aynı kalmış, ancak ekserji yıkım akımı bu analizde geleneksel analize akımla daha yüksek düzeyde kalmıştır. Önerilen sistem için özgün olarak hazırlanan ve enerji taşıyıcılarının ana ürünler, yan ürünler ve dış kaynaklar olarak sınıflandırıldığı ve gösterildiği genişletilmiş ekserji akış diyagramı, Şekil 25'te sunulmuştur. Bunun yanı sıra, Şekil 25'te önerilen sistemin her bir bileşeninin ekserji ürün akımı ve tüm sistemin genişletilmiş ekserji içeriği bileşenleri görselleştirilmiştir. Bu yolla önerilen sistem, yaşam döngüsü değerlendirmeleri açısından kapsamlı bir şekilde sunulmuştur.

Tablo 37. Önerilen sistemin genişletilmiş ekserji analizi sonuçları.

|                     |                           |
|---------------------|---------------------------|
| $ee_L$              | 63,89 MJ/çalışma saati    |
| $E_L$               | 4,86 GJ                   |
| $ee_c$              | 38,85 MJ/Euro             |
| $E_c$               | 13,88 GJ                  |
| $E_E$               | $8,538 \times 10^{-3}$ GJ |
| $E_{cum,ex}^{cool}$ | 2724280,74 GJ             |
| $E_{cum,ex}^{heat}$ | 1497801,60 GJ             |
| $E_{cum,T}$         | 4222082,34 GJ             |
| $EE$                | 4222101,09 GJ             |
| $EXP$               | 1842120 GJ                |
| $EED$               | 2379981,09 GJ             |
| $\Phi_{EE}$         | 0,44                      |

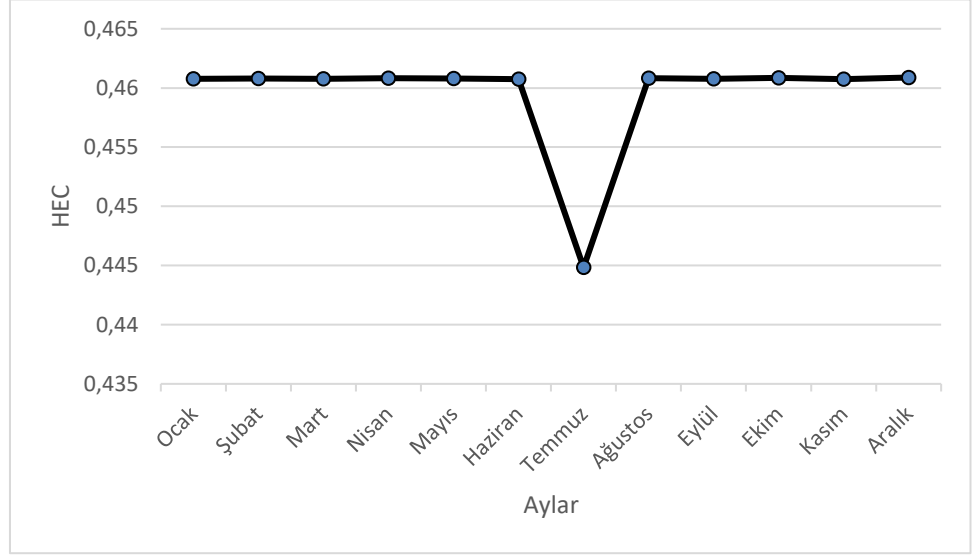


- Bileşen akımı
- Dış kaynaklar
- Ana ürünler
- Yan ürünler
- Ekserji ürün oranı akımı

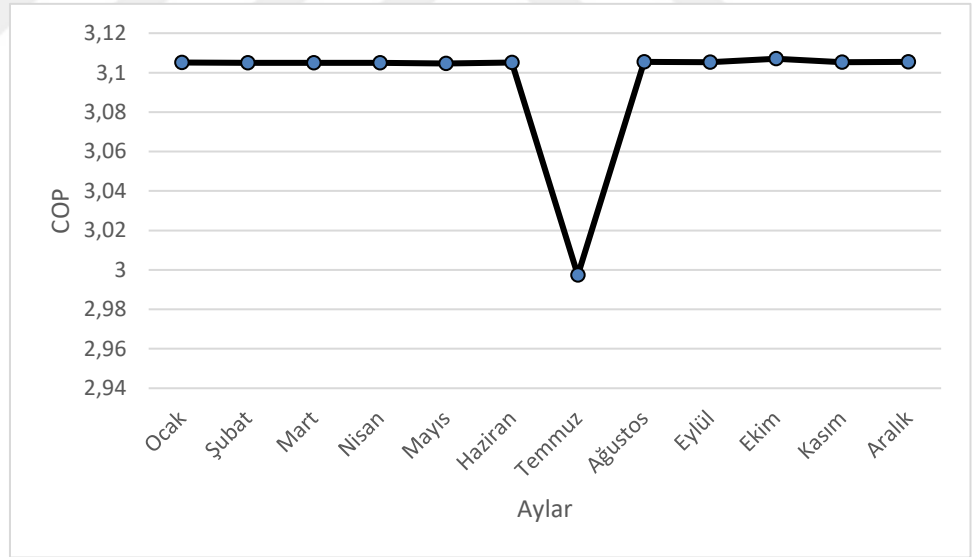
Şekil 25. Önerilen sistemin genişletilmiş ekserji diyagramı.

### 3.2.5.3 TRNSYS Yıllık Simülasyon Sonuçları

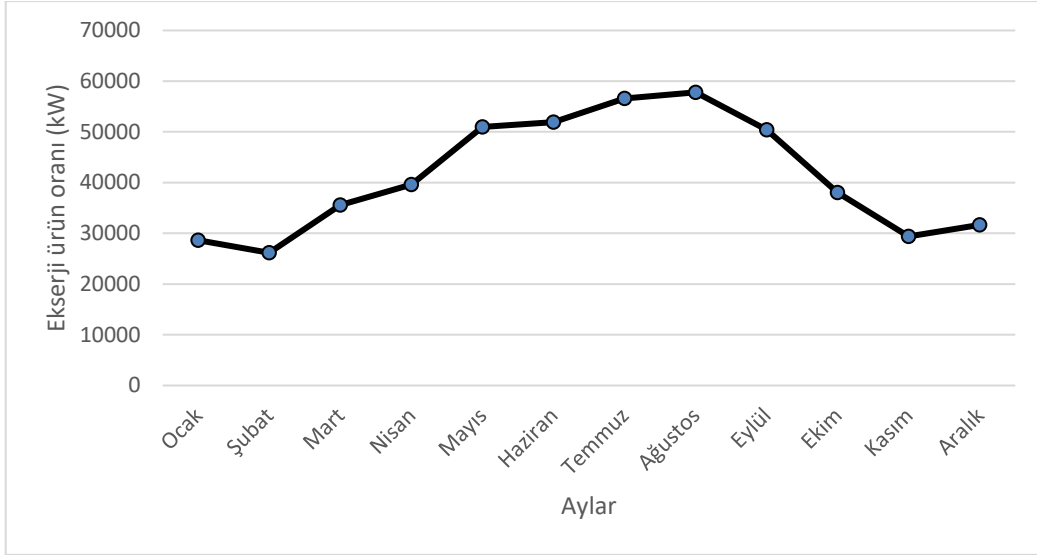
TRNSYS simülasyon sonuçlarına göre, yıllık soğutma ve ısıtma yükü üretimleri toplamda sırasıyla 52370 MWh ve 52400 MWh olarak belirlenmiştir. Şekil 26-31'de, AIY sistemi için ısı etki katsayısı (HEC), ASÇ sistemi için COP, önerilen sistem için toplam ekserji ürün akımı, genişletilmiş ekserji akımı ve genişletilmiş ve geleneksel ekserji verimliliklerinin değişimi sırasıyla yıllık olarak gösterilmiştir. Şekil 16-17'ye göre, yıl boyunca en yüksek HEC ve COP değerleri sırasıyla 0,46 ve 3,11 olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu şekillerde, güneş ışıınım yoğunluğunun artmasıyla HEC ve COP değerlerinin monoton bir şekilde azaldığı gösterilmiştir. Bu durum, güneş ışıınım yoğunluğunun artmasıyla aynı ısıtma ve soğutma çıktılarına ulaşmak için pompalama işleri ve AIY ve ACC sistemlerinin ısı girdisi ihtiyacı nedeniyle daha fazla ekserjik yakıtın gerektiği şeklinde açıklanmıştır. Güneş ışıınım yoğunluğundaki artış, AIY ve ASÇ sistem bileşenlerinde kütsel debinin artmasına neden olmuş, ancak COP için pompalama işi artış oranı soğutma yükünden daha yüksek hale gelmiştir. Bu nedenle COP değeri, güneş ışıınım yoğunluğu arttıkça monoton olarak düşmüştür. Benzer bir davranış HEC değişimi için de geçerli olmuştur. Bu bağlamda, HEC ve COP'nin en yüksek düşme ve artış oranları sırasıyla Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleşmiştir. Şekil 18-21'de Ağustos'a kadar güneş ışıınım yoğunluğu ve atık ısı kaynağının sıcaklığı arttıkça, ekserji ürün akımının ve genişletilmiş ekserji akımının monoton bir şekilde arttığı açıkça görülmüştür. Ancak Ağustos'tan sonra bu davranış tersine dönmüştür. Bu nedenle, bu terimler için en yüksek değerler Ağustos ayında elde edilmiştir. Ancak bu ayda genişletilmiş ekserji akımı, geleneksel ekserji analizine kıyasla daha fazla yakıt girdisine, örneğin sermaye, işgücü, çevresel ve kümülatif ekserji tüketimine dahil olduğundan daha yüksek hale gelmiştir. Aynı zamanda, ekserji ürün akımı geleneksel ekserji analiziyle aynı alınmıştır. Bu nedenle, bu ayda en düşük genişletilmiş ekserji verimliliği elde edilmiştir. Ancak Ağustos, yıl boyunca en yüksek geleneksel ekserji verimliliği olan ay haline gelmiştir.



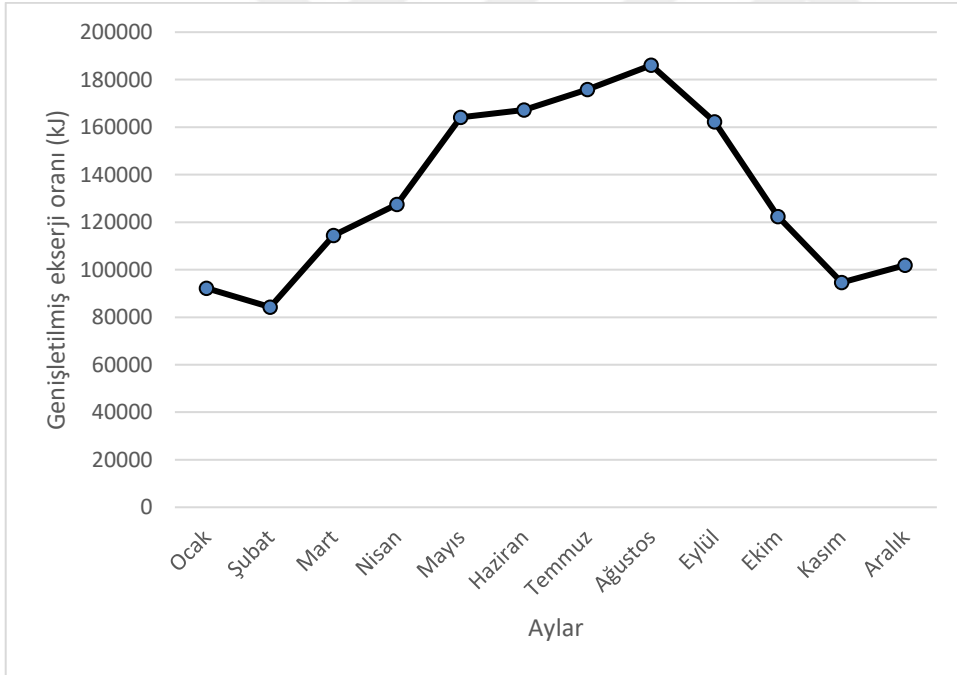
Şekil 26. Tüm yıl boyunca AIY sistemi için HEC değerinin değişimi.



Şekil 27. Tüm yıl boyunca ASÇ sistemi için COP değerinin değişimi.

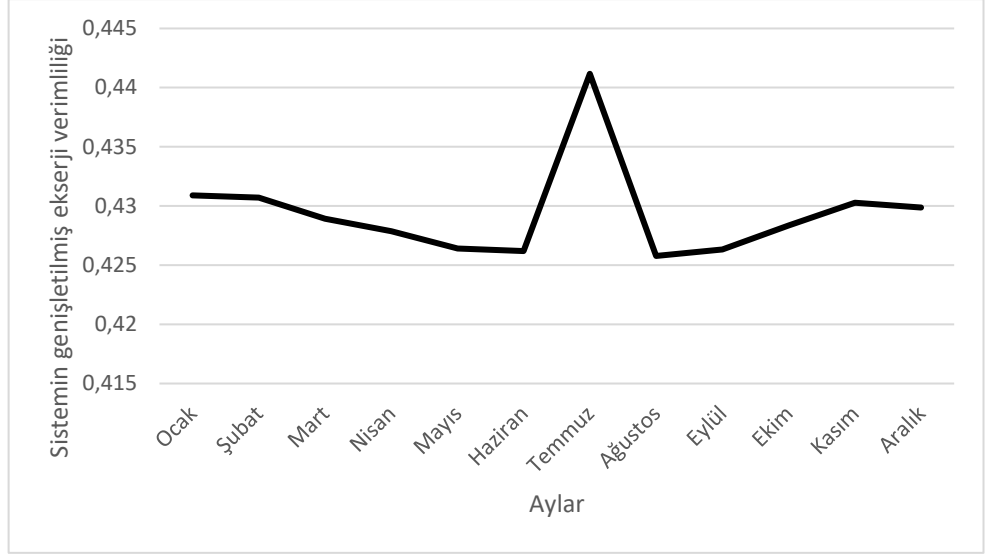


Şekil 28. Tüm yıl boyunca tüm sistemin ekserji ürün akımının değişimi.

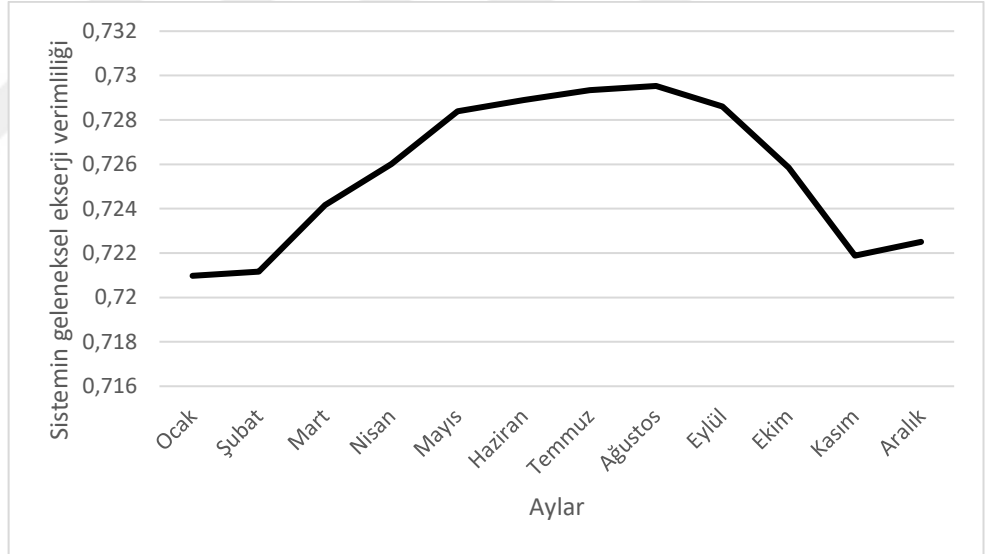


Şekil 29. Tüm yıl boyunca tüm sistemin genişletilmiş ekserji akımının değişimi.





Şekil 30. Tüm yıl boyunca tüm sistemin genişletilmiş ekserji verimliliğinin değişimi.



Şekil 31. Tüm yıl boyunca tüm sistemin geleneksel ekserji verimliliğinin değişimi.

### 3.2.5.4 Ekonomik Değerlendirme Sonuçları ve Önerilen Sistemin Benzer Ölçekli Diğer Tesislerle Karşılaştırılması

Tablo 38’de, önerilen sistemle ilgili ekonomik değerlendirme sonuçları özetlenmiştir. Ekonomik değerlendirmeler açısından önerilen sistemi benzer ölçekli soğutma tesisleriyle karşılaştırmak için, Schüppler ve ark. (Schüppler et al.,2022) referans çalışması ile Bowling Green State Üniversitesi merkezi soğutma (Bowling Green State University-Centrex Central Chiller Plant, 2016), Cleveland Hopkins Uluslararası Havaalanı soğutma suyu (Chilled Water Plant Assessment & Criteria Design Cleveland Airport System, 2023) ve ZEOSOL entegre güneş ısıtma ve soğutma tesisleri (Integrated solar heating and cooling unit based on a novel zeolite chiller and heat pump, 2020) raporları incelenmiş ve 4000 kW soğutma yükü üretimi için değerlendirilmiştir. Bu karşılaştırmadan mevcut soğutma tesislerinde 4000 kW soğutma yükü üretimi için başlangıç toplam yatırım ve yıllık çalışma maliyetlerinin sırasıyla 6-8 milyon ABD Doları ve 5-7 milyon ABD Doları aralığında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca geri ödeme sürelerinin ve 5 ile 10 yıl arasında değişkenlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Ancak, önerilen sistem için başlangıç toplam yatırım ve yıllık çalışma maliyetleri ile geri ödeme süresi sırasıyla 4.56 milyon ABD Doları, 3,12 milyon ABD Doları ve 1,75 yıl olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, karşılaştırılan sistemlerinde üretilen 4000 kW soğutma yüküne ek olarak, önerilen sistemde 4000 kW ısı yükünün daha düşük maliyetle üretildiğini göstermiştir. Önerilen sistemin yıllık enerji maliyet kazancı da 3,89 milyon ABD Doları olarak belirlenmiştir. Bu karşılaştırma sonuçları, DGK, AIY ve ASÇ'nin önerilen sistemle entegrasyonunun, mevcut soğutma-ısıtma kojenerasyon sistemlerine göre ekonomik açıdan daha güçlü bir alternatif sunduğunu açıkça göstermiştir.

Tablo 38. Önerilen sistemin ekonomik değerlendirme sonuçları.

|                                               |                         |
|-----------------------------------------------|-------------------------|
| AIY çevriminin maliyeti                       | 1,74 milyon ABD Doları  |
| ASÇ çevriminin maliyeti                       | 900,42 bin ABD Doları   |
| DGK kurulum maliyeti                          | 96 ABD Doları/ $m^2$    |
| Toplam direkt maliyet                         | 4,49 milyon ABD Doları  |
| Toplam indirekt maliyet                       | 673,38 bin ABD Doları   |
| Toplam maliyet                                | 4,56 milyon ABD Doları  |
| Geri ödeme süresi                             | 1,748 yıl               |
| Net bugünkü değer                             | 19,62 milyon ABD Doları |
| İç karlılık oranı                             | %20.39                  |
| Seviyelendirilmiş soğutma kapasitesi maliyeti | 0,09 ABD Doları /kWh    |
| Yıllık çalışma maliyeti                       | 3,12 milyon ABD Doları  |
| Yıllık enerji kazanım maliyeti                | 3,89 milyon ABD Doları  |

### 3.2.5.5 Çevresel Etki ve Sürdürülebilirlik Analizi Sonuçları

Tablo 39 ve 40'ta sırasıyla sürdürülebilirlik ve çevresel analiz bulguları gösterilmiştir. Bu tablolarda, seviyelendirilmiş soğutma yükü üretim kapasitesine eşdeğer  $CO_2$  emisyonunun 0,201 t/MWh olduğu açıkça gösterilmiştir. Literatür çalışmalarına göre benzer ölçekli orta-yüksek kapasiteli soğutma tesisleri için bu değer 0,4 ile 0,6 arasında olduğu belirtilmiştir (Hashemian and Noorpoor, 2022; Shakibi et al.,2023). Bu sonuç, önerilen sistemin mevcut orta-yüksek kapasiteli soğutma tesisleri ile karşılaştırıldığında ekergoçevresel açıdan üstün bir alternatif sunduğunu göstermiştir.

Tablo 39. Önerilen sistemin çevresel etki analizi sonuçları.

|                                                                             |          |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------|
| Önerilen sistemin toplam $CO_2$ emisyonu (kg)                               | 10501,82 |
| Seviyelendirilmiş soğutma yükü kapasitesine eşdeğer $CO_2$ emisyonu (t/MWh) | 0,201    |
| Seviyelendirilmiş ısıtma yükü kapasitesine eşdeğer $CO_2$ emisyonu (t/MWh)  | 0,200    |

Tablo 40. Önerilen sistemin sürdürülebilirlik analizi sonuçları.

| Bileşen    | Ekolojik etki faktörü, <i>EcoEF</i> | Çevresel etki faktörü, <i>EEF</i> | Ekserjitik sürdürülebilirlik indeksi, <i>EXSI</i> | Sosyo-ekolojik faktör, <i>SEF</i> |
|------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Gen        | 1,13                                | 0,13                              | 7,51                                              | 8,48                              |
| Con        | 1,28                                | 0,28                              | 3,63                                              | 4,63                              |
| P1         | 9,52                                | 8,53                              | 0,12                                              | 1,12                              |
| P2         | 9,52                                | 8,53                              | 0,12                                              | 1,12                              |
| P3         | 4,93                                | 3,93                              | 0,26                                              | 1,26                              |
| P4         | 21,74                               | 20,74                             | 0,05                                              | 1,05                              |
| EV11       | 1,09                                | 0,09                              | 11,31                                             | 12,35                             |
| EV2        | 28,57                               | 27,56                             | 0,04                                              | 1,04                              |
| ABS1       | 1,87                                | 0,87                              | 1,15                                              | 2,15                              |
| ABS2       | 6,06                                | 5,06                              | 0,2                                               | 1,2                               |
| SHX1       | 1,05                                | 0,05                              | 17,8                                              | 18,8                              |
| SHX2       | 1,03                                | 0,04                              | 18,27                                             | 19,23                             |
| V1         | 1,06                                | 0,06                              | 15,93                                             | 16,95                             |
| V2         | 1,14                                | 0,14                              | 7                                                 | 8                                 |
| V3         | 1,02                                | 0,00003                           | 39,3                                              | 40,16                             |
| V4         | 1,12                                | 0,12                              | 8,19                                              | 9,18                              |
| DGK        | 90,91                               | 89,93                             | 0,01                                              | 1,01                              |
| Tüm sistem | 1,35                                | 0,34                              | 2,97                                              | 3,86                              |

### 3.3 Güneş Enerjisi, ORÇ ve Absorpsiyon Teknolojileri ile Yüksek Kapasiteli Elektrik ve Soğutma Yükünün Daha Ekonomik Yoldan Eldesi İçin Geliştirilen Özgün Sistem

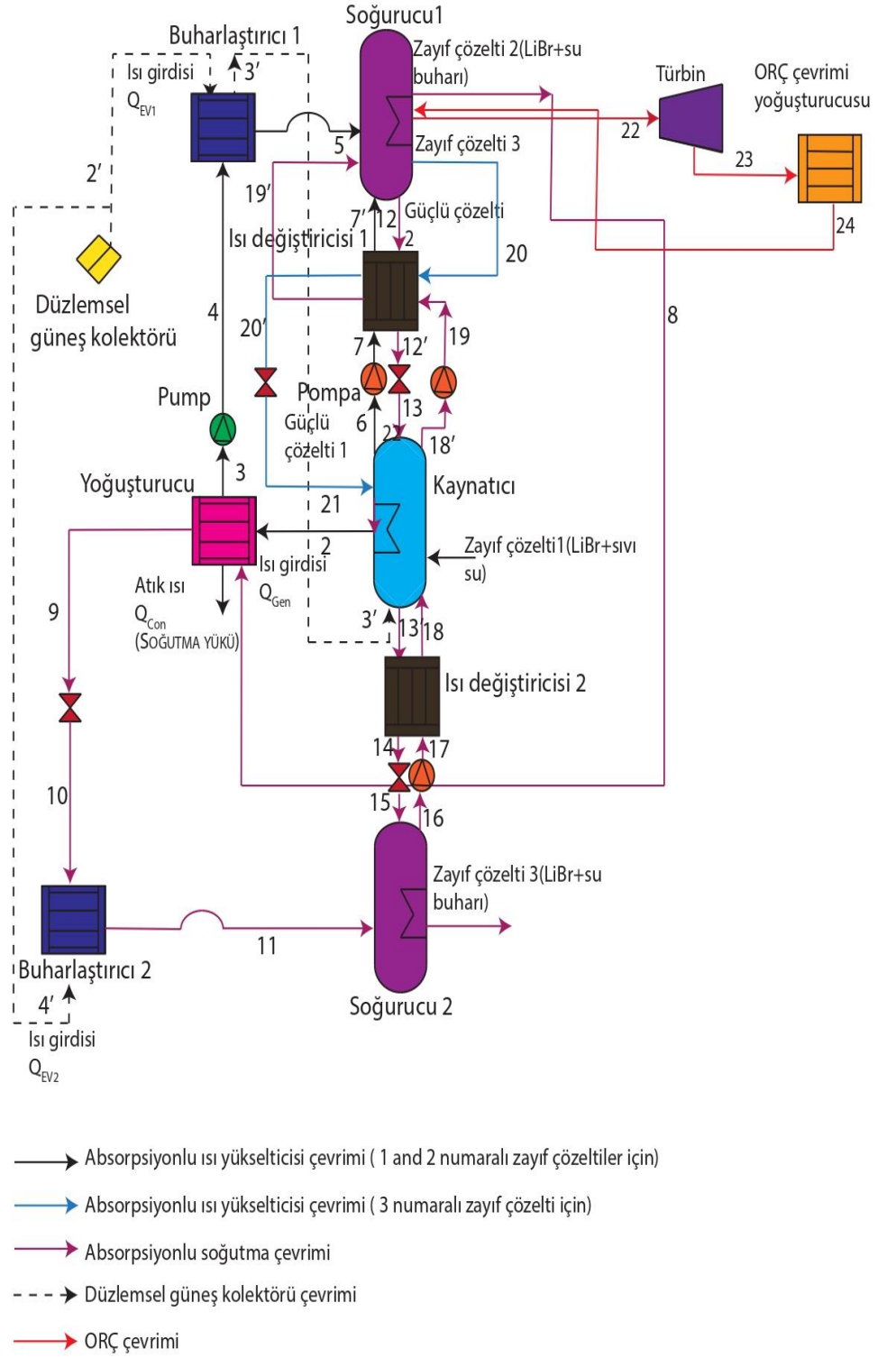
#### 3.3.1 Önerilen Sistemin Tanıtımı

Bu tez çalışması kapsamında, önceki bölümlerde aktarıldığı üzere yüksek kapasiteli elektrik üretiminin literatürdeki mevcut güneş enerjisi destekli ORÇ santrallerinden daha ekonomik bir yolla üretilebilmesi için DGK, AIY ve ORÇ sistemlerinin entegrasyonuna dayanan özgün bir sistem tasarımı geliştirilmiştir. Benzer şekilde yüksek kapasiteli soğutma ve ısıtma yüklerini daha düşük seviyeli atık ısı sıcaklık kaynaklarıyla, daha ekonomik ve tek kademeli ASÇ sistemi kullanılmasına rağmen COP değeri 1'in üzerinde olacak şekilde üretmek için DGK, AIY ve ASÇ sistem entegrasyonuna dayalı olarak özgün başka bir sistem geliştirilmiştir. Üretim çıktılarının yüksek kapasiteli elektrik ve soğutma yükü

üretimi olması durumu için ise daha önceden geliştirilen ve mevcut ilgili tesislerle karşılaştırma yapıldığında eksergoekonomik ve çevresel açılardan güçlü alternatif oluşturan bu iki avantajlı özgün sistemin entegrasyonunu içeren ayrı üçüncü özgün bir sistem tasarımı geliştirilmiştir. Bu sistem tasarımının amacı DGK'nin diğer alt sistemler olan AIY, ORÇ ve ASÇ sistemleriyle entegrasyonu yoluyla seviyelendirilmiş elektrik ve soğutma yükü kapasitesi maliyetlerini literatürde mevcut olan tesislerden daha düşük bir seviyeye daha düşük seviyeli atık ısı sıcaklık kaynağı kullanımı ve daha sade bir sistem tasarımıyla getirmek olmuştur. Önerilen bu özgün sistem tasarımına ait şematik diyagram Şekil 32'de gösterilmiştir. AIY ve ASÇ sistemleri için LiBr-su çözeltisi kullanılarak tasarlanan bu sistemde, 4 MW soğutma yükü ve 1 MW elektrik üretim kapasitelerini elde etme hedeflenmiştir. Sistemin çalışması, yalnızca düşük sıcaklık atık ısı kaynağından elde edilen ısı taleplerini karşılamayı gerektirmiştir ve bu durum, DGK entegrasyonu aracılığıyla kaynatıcıda (Gen) ve AIY sisteminde (EV1) gerçekleştirilmiştir. DGK'nin 70°C-90°C sıcaklık aralığı, düşük sıcaklık seviyeli atık ısı kaynağından yüksek kapasiteli elektrik ve soğutma yükü sağlamayı mümkün kılmıştır. Ayrıca, bu yaklaşım ASÇ sistem maliyetlerinde bir azalmaya neden olmuştur. ASÇ sistemi maliyetlerini daha da düşürmek için, AIY ve ASÇ sistemlerinin entegrasyonunda AIY sistemi soğurucusundan (ABS1) çıkan yüksek sıcaklıktaki LiBr-su çözeltisi kullanılmış ve AIY çevrimi tamamlanmadan önce doğrudan yoğuşturucuya (Con) yönlendirilmiştir. Bu çözelti, yoğuşturucuya ulaştıktan sonra ASÇ sistemi buharlaştırıcısına (EV2) doymuş su olarak yönlendirilmiştir. Elektrik üretimi, çözeltinin kaynatıcıdan AIY sistemi soğurucusuna geri gönderilmesi ve soğutma çevriminden sonra AIY ve ORÇ çevrimlerinin tamamlanmasıyla sağlanmıştır. Bu durum, ASÇ sisteminde kaynatıcı kullanımını engelleyerek ek maliyet ve ısı kaynağı gereksinimlerinden tasarruf edilmesini sağlamıştır. Bu önlem sayesinde ASÇ sisteminin COP değeri 1'in üzerine çıkarılmıştır. Gen ve EV1 için DGK entegrasyonu nedeniyle sıcaklıklar 80°C olarak belirlenmiştir, ABS1, Con, EV2, ASÇ sistem soğurucusu (ABS2), ORÇ türbini (ORCT) girişi ve ORÇ yoğuşturucusu (ORCC) ise sırasıyla 150°C, 40°C, 10°C, 25°C, 145°C ve 20°C olarak parametrik bir çalışma sonucunda belirlenmiştir. Bu parametrik çalışma, ORÇ sistemi enerji verimliliği ve ASÇ sistemi için COP değerinin klasik PV sistemine dayalı absorpsiyonlu soğutma sistemi için belirlenen değerlerin sırasıyla %17-%19 ve %40-%50 oranında aşmayı hedefleyerek karşılaştırılabilir bir güneş

enerjili güç-soğutma kojenerasyon sistemini oluşturmayı amaçlamıştır. Yüksek başlangıç yatırımı ve yıllık maliyetlere sahip geleneksel güç-soğutma tesislerinin aksine, buradaki amaç, ASÇ, DGK, ORÇ ve AIY sistemlerini entegre ederek yüksek kapasiteli elektrik ve soğutma yükünün ekonomik ve çevresel olarak üretilmesi olmuştur.





Şekil 32. DGK, ORÇ, AIY ve ASÇ sistemleri entegrasyonuna dayalı olarak yüksek kapasiteli soğutma yükü ve elektrik üretimi için geliştirilen özgün sisteme ait şematik diyagram.

### 3.3.2 Önerilen Sistemdeki Prosesin Tanıtımı

Kaynaticıda (Gen), seyreltik olarak bulunan LiBr-su çözeltisi içerisindeki suyun önemli bir kısmı kaynatılır ve çözeltinin konsantrasyonunu artırmak için 2 numaralı akım aracılığıyla yoğunlaştırucuya (Con) yönlendirilir. Con'dan çıkan su doymuş sıvı olarak 3 numaralı akımla pompaya (P1) iletilir ve buradan 4 numaralı akımla EV1'e gönderilerek buradan doymuş buhar fazında çıkar. EV1'den gelen buhar, 5 numaralı akım aracılığıyla ABS1'e yönlendirilir. Burada absorbent madde bakımından zengin hale gelen çözelti, kaynaticıdan sonra ABS1'e çözelti pompası(P2) ve ısı değiştiricisi (SHX1) aracılığıyla taşınır. ABS1'deki buharın ve zengin çözeltinin karışması, yüksek sıcaklıktaki seyreltik LiBr-su çözeltisinin oluşumuna yol açar. Bu yüksek sıcaklıktaki çözelti içerisinde bulunan buharın büyük bir bölümü, 8 numaralı akım aracılığıyla Con'a gönderilir ve ABS1'deki çözelti bu yolla daha da zenginleştirilmiş olur. Doymuş sıvı fazında Con'dan çıkan suyun basıncı, genleşme valfi(V3) kullanılarak 9 ve 10 numaralı akımlar aracılığıyla EV2 basıncına düşürülür. EV2'den çıkan doymuş buhar daha sonra 11 numaralı akım aracılığıyla ABS2'ye transfer edilir. 12 numaralı akım ile ABS1'den gelen zengin çözelti, 15 numaralı akım aracılığıyla genleşme valfleri (V2 ve V4) ile ABS2'ye gönderilir. ABS2'deki buharın ve zengin çözeltinin karışımı, seyreltik LiBr-su çözeltisinin oluşmasını sağlar. Bu çözelti, 16, 17 ve 18 numaralı akımlar aracılığıyla çözelti pompası (P4) ve ısı değiştiricisi (SHX2) ile Gen'e iletilerek ASÇ çevrimini tamamlanır ve 4000 kW'lık soğutma yükü üretilir. Net 1000 kW'lık mekanik gücü ORCT'den elde etmek için AIY ve ORÇ çevrimlerinin tamamlanması gerekmektedir. Gen'e 19 ve 20 numaralı akımlar aracılığıyla çözelti pompası (P3) ve SHX1'den geçirilerek iletilen seyreltik çözelti, çözelti pompası ve ısı değiştirici aracılığıyla ABS1'e geri gönderilir. ABS1'den Gen'e 21 numaralı akım aracılığıyla SHX1 üzerinden genleşme valfi (V1) ile çözelti iletilerek AIY çevrimi sona ermiş olur. ORÇ iş akışkanı, ORCT'ye girişte 22 numaralı akımla girer ve 23 numaralı akımla çıkarak ORCCon'a gider. ORCT'de genişleme işlemi sürecinde mekanik iş üretilir. 24 numaralı akımla ORÇ iş akışkanı, yoğunlaşma süreci nedeniyle tamamen doymuş sıvı haline gelir. Ardından ORÇ döngüsünü tamamlamak için ABS1'e yönlendirilir ve 1000 kW'lık net ORCT gücü üretilmiş olur.



### 3.3.3 Önerilen Sistemin Akış Diyagramı Simülasyonu

Önerilen sistemin termodinamik modeli Tablo 41’de belirtilen sistem tasarım parametrelerinin ve kabul edilen varsayımların EES paket programına entegrasyonu ile oluşturulmuştur. Bu modele dayalı olarak elde edilen akış diyagramı simülasyon sonuçları Tablo 42’de gösterilmiştir.

Tablo 41. Önerilen sistem için belirlenen tasarım parametreleri ve kabul edilen varsayımlar.

| Tasarım parametreleri                                |                                                      |                                 | Varsayımlar                                                                         |                                                      |                                                                     |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| AIY sistemi                                          | ASÇ sistemi                                          | ORÇ sistemi                     | AIY sistemi                                                                         | ASÇ sistemi                                          | ORÇ sistemi                                                         |
| Kaynatıcı sıcaklığı: 80 °C                           | Buharlaştırıcı sıcaklığı: 10 °C                      | ORÇ iş akışkanı: Toluene        | Su, yoğusturucuyu doymuş sıvı fazında terk eder.                                    | Su, yoğusturucuyu doymuş sıvı fazında terk eder..    | Organik iş akışkanı türbin girişinde doymuş buhar fazındadır.       |
| Yoğusturucu sıcaklığı: 40 °C                         | Soğurucu sıcaklığı: 25 °C                            | Buharlaştırıcı sıcaklığı: 145°C | Su, buharlaştırıcıdan doymuş buhar fazında çıkar.                                   |                                                      | Yoğusturucu çıkışındaki organik iş akışkanı doymuş sıvı fazındadır. |
| Buharlaştırıcı sıcaklığı: 80 °C                      | Çözeltili ısı değiştiricisi sıcaklığı: 55 °C         | Yoğusturucu sıcaklığı: 20°C     | LiBr-su çözeltisi, soğurucu basıncı ve sıcaklığında soğurucudan ayrılır.            | Su, buharlaştırıcıyı doymuş buhar fazında terk eder. |                                                                     |
| Soğurucu sıcaklığı: 140 °C                           | Soğutkan-absorbent madde karışımı: LiBr-su çözeltisi | Türbin izantropik verimi: 0,95  | LiBr-su çözeltisi kaynatıcıdan soğurucu basıncı ve sıcaklığında ayrılır.            |                                                      |                                                                     |
| Çözeltili ısı değiştiricisi sıcaklığı: 135 °C        |                                                      | Net mekanik türbin gücü: 1 MW   | Su kaynatıcıdan kaynatıcı sıcaklığında ayrılır.                                     |                                                      |                                                                     |
| Soğutkan-absorbent madde karışımı: LiBr-su çözeltisi |                                                      |                                 | Kinetik ve potansiyel enerjideki değişimler ihmal edilmiştir.                       |                                                      |                                                                     |
|                                                      |                                                      |                                 | Sistem kararlı durumda çalışmaktadır.                                               |                                                      |                                                                     |
|                                                      |                                                      |                                 | Bileşenlerin çevreye ısı yayılımı dikkate alınmamıştır.                             |                                                      |                                                                     |
|                                                      |                                                      |                                 | Pompalar ve vanalar hariç tüm bileşenlerdeki gerilim değişimi dikkate alınmamıştır. |                                                      |                                                                     |

Tablo 42. Önerilen sistem için akış diyagramı simülasyon sonuçları.

| Akım | $P[kPa]$ | $T[^\circ C]$ | $\dot{m} \left[ \frac{kg}{s} \right]$ | $h \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$ | $s \left[ \frac{kJ}{kgK} \right]$ | $X(\%)$ |
|------|----------|---------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---------|
| 0    | 3,17     | 25            | 0,99                                  | 104,8                            | 0,37                              |         |
| 1    | 3,17     | 90            | 0,99                                  | 2669                             | 8,93                              |         |
| 2    | 7,38     | 80            | 0,99                                  | 2649                             | 8,48                              |         |
| 3    | 7,38     | 40            | 0,99                                  | 167,5                            | 0,57                              |         |
| 4    | 47,37    | 80            | 0,99                                  | 334,9                            | 1,08                              |         |
| 5    | 47,37    | 80            | 0,99                                  | 2643                             | 7,61                              |         |
| 6    | 47,37    | 140           | 18,08                                 | 319,3                            | 0,73                              | 63,49   |
| 7    | 39,34    | 135           | 18,08                                 | 310,1                            | 0,7                               | 63,49   |
| 8    | 7,38     | 140           | 1,62                                  | 387,4                            | 0,31                              | 80,25   |
| 9    | 7,38     | 40            | 1,62                                  | 167,5                            | 0,57                              |         |
| 10   | 1,23     | 10            | 1,62                                  | 41,99                            | 0,15                              |         |
| 11   | 1,23     | 10            | 1,62                                  | 2519                             | 8,9                               |         |
| 12   | 7,38     | 140           | 19,07                                 | 387,4                            | 0,31                              | 80,25   |
| 13   | 148,3    | 148,3         | 19,07                                 | 387,4                            | 0,63                              | 76,08   |
| 14   | 150      | 150           | 19,07                                 | 337,6                            | 0,77                              | 63,49   |
| 15   | 155,4    | 155,4         | 19,07                                 | 337,6                            | 0,99                              | 50      |
| 16   | 1,23     | 25            | 20,68                                 | 45,46                            | 0,21                              | 46,1    |
| 17   | 6,07     | 55            | 20,68                                 | 113,9                            | 0,43                              | 46,1    |
| 18   | 19       | 80            | 20,68                                 | 171,3                            | 0,6                               | 46,1    |
| 19   | 137      | 135           | 20,68                                 | 299,3                            | 0,94                              | 46,1    |
| 20   | 159,3    | 150           | 20,68                                 | 311,1                            | 0,97                              | 46,1    |
| 21   | 19       | 80            | 20,68                                 | 171,3                            | 0,6                               | 46,1    |
| 22   | 2104     | 145           | 18,39                                 | 465,5                            | 1,71                              |         |
| 23   | 75,71    | 20            | 18,39                                 | 411,2                            | 1,72                              |         |
| 24   | 75,71    | 20            | 18,39                                 | 221                              | 1,07                              |         |

Burada  $P, T, \dot{m}, h, s$  ve  $X$  sırasıyla ilgili akımlardaki basınç, sıcaklık, kütleli debi, spesifik entalpi, spesifik entropi ve LiBr-su çözeltisinin LiBr konsantrasyon yüzdesi değerlerini ifade etmektedir.

### 3.3.4 Analizler

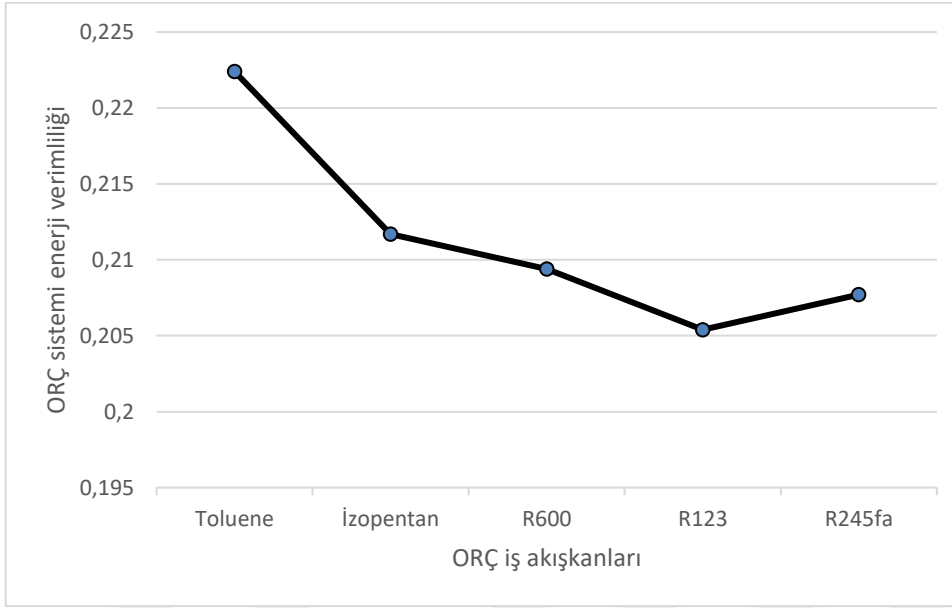
#### 3.3.4.1 Enerji Analizi

Önerilen özgün sistem üzerinde uygulanan enerji analizi, Tablo 43'te detaylandırıldığı üzere kütle ve enerji denklemlerinin uygulanmasını içermiştir. Bu analizi yönlendiren varsayımlar Tablo 41'de açıkça belirtilen tasarım parametreleri olmuştur. Önerilen sistemin merkez örneğini içeren İzmir, Türkiye konumu için DGK'de optimum eğim ve azimut açıları önceki bölümlerde tanıtımı yapılan bu tez kapsamında geliştirilen DGK özgün matematiksel modeli ile belirlenmiştir. Diğer sistem bileşenlerine ait EES modellemeleri, TRNSYS içerisinde dışarıdan çağrılma yoluyla entegre edilmiştir. Şekil 33'te, enerji açısından en uygun ORÇ iş akışkanının belirlemek için beş farklı ORÇ iş akışkanı için ORÇ sistemi enerji verimlilik değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucuna göre, toluene, izopentan ve R600, diğer seçeneklere göre üstün enerjistik performans

sergilemişlerdir. Enerjitik açıdan optimum ORÇ iş akışkanını için enerji analizi sonuçları Tablo 44’te daha ayrıntılı olarak belirtilmiştir.

Tablo 43. Önerilen sistem için kütle ve enerji denge denklemleri.

| Bileşen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Kütle denge denklemi                                                                                                                                                                                                                                        | Enerji denge denklemi                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $\dot{m}_{18} = \dot{m}_{13} + \dot{m}_{21}$<br>$\dot{m}_{18}X_{18} = \dot{m}_{13}X_{13} + \dot{m}_{21}X_{21}$                                                                                                                                              | $\dot{Q}_{Gen} = \dot{m}_{18}h_{18} - [\dot{m}_{21}h_{21} + \dot{m}_{13}h_{13}]$                                                            |
| Con                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $\dot{m}_2 = \dot{m}_3$                                                                                                                                                                                                                                     | $\dot{Q}_{Con} = \dot{m}_2(h_2 - h_3)$                                                                                                      |
| P1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $\dot{m}_3 = \dot{m}_4$                                                                                                                                                                                                                                     | $\dot{m}_3h_3 + \dot{W}_{P1} = \dot{m}_4h_4$                                                                                                |
| P2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $\dot{m}_6 = \dot{m}_7$                                                                                                                                                                                                                                     | $\dot{m}_6h_6 + \dot{W}_{P2} = \dot{m}_7h_7$                                                                                                |
| P3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $\dot{m}_{18} = \dot{m}_{19}$                                                                                                                                                                                                                               | $\dot{m}_{18}h_{18} + \dot{W}_{P3} = \dot{m}_{19}h_{19}$                                                                                    |
| P4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $\dot{m}_{16} = \dot{m}_{17}$                                                                                                                                                                                                                               | $\dot{m}_{16}h_{16} + \dot{W}_{P4} = \dot{m}_{17}h_{17}$                                                                                    |
| EV1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $\dot{m}_4 = \dot{m}_5$                                                                                                                                                                                                                                     | $\dot{Q}_{EV1} = \dot{m}_4(h_5 - h_4)$                                                                                                      |
| EV2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $\dot{m}_{10} = \dot{m}_{11}$                                                                                                                                                                                                                               | $\dot{Q}_{EV2} = \dot{m}_{10}(h_{11} - h_{10})$                                                                                             |
| ABS1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $\dot{m}_{19'19'} = \dot{m}_{20} + \dot{m}_{12}$<br>$\dot{m}_{19'19'}X_{19'19'} = \dot{m}_{20}X_{20} + \dot{m}_{12}X_{12}$                                                                                                                                  | $\dot{Q}_{ABS1} = [\dot{m}_{20}h_{20} + \dot{m}_{12}h_{12}] - \dot{m}_{19'19'}h_{19'19'}$                                                   |
| ABS2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $\dot{m}_{11} + \dot{m}_{15} = \dot{m}_{16}$<br>$\dot{m}_{15}X_{15} = \dot{m}_{16}X_{16}$                                                                                                                                                                   | $\dot{Q}_{ABS2} = \dot{m}_{16}h_{16} - [\dot{m}_{11}h_{11} + \dot{m}_{15}h_{15}]$                                                           |
| SHX1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $\dot{m}_{12} = \dot{m}_{12'12'}$<br>$\dot{m}_{20} = \dot{m}_{20'20'}$<br>$\dot{m}_7 = \dot{m}_{7'7'}$<br>$\dot{m}_{12}X_{12} = \dot{m}_{12'12'}X_{12'12'}$<br>$\dot{m}_{20}X_{20} = \dot{m}_{20'20'}X_{20'20'}$<br>$\dot{m}_7X_7 = \dot{m}_{7'7'}X_{7'7'}$ | $\dot{m}_{20}h_{20} + \dot{m}_7h_7 + \dot{m}_{12'12'}h_{12'12'} = \dot{m}_{20'20'}h_{20'20'} + \dot{m}_{7'7'}h_{7'7'} + \dot{m}_{12}h_{12}$ |
| SHX2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $\dot{m}_{17} = \dot{m}_{18}$<br>$\dot{m}_{13} = \dot{m}_{14}$<br>$\dot{m}_{17}X_{17} = \dot{m}_{18}X_{18}$<br>$\dot{m}_{13}X_{13} = \dot{m}_{14}X_{14}$                                                                                                    | $\dot{m}_{13}h_{13} + \dot{m}_{17}h_{17} = \dot{m}_{18}h_{18} + \dot{m}_{14}h_{14}$                                                         |
| V1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $\dot{m}_{20'20'} = \dot{m}_{21}$                                                                                                                                                                                                                           | $h_{20'20'} = h_{21}$                                                                                                                       |
| V2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $\dot{m}_{12'12'} = \dot{m}_{13}$                                                                                                                                                                                                                           | $h_{12'12'} = h_{13}$                                                                                                                       |
| V3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $\dot{m}_9 = \dot{m}_{10}$                                                                                                                                                                                                                                  | $h_9 = h_{10}$                                                                                                                              |
| V4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | $\dot{m}_{14} = \dot{m}_{15}$                                                                                                                                                                                                                               | $h_{14} = h_{15}$                                                                                                                           |
| ORCT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | $\dot{m}_{22} = \dot{m}_{23}$                                                                                                                                                                                                                               | $\dot{m}_{22}h_{22} = \dot{m}_{23}h_{23} + \dot{W}_{ORCT}$                                                                                  |
| ORCcon                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\dot{m}_{23} = \dot{m}_{24}$                                                                                                                                                                                                                               | $\dot{Q}_{ORCcon} = \dot{m}_{22}(h_{23} - h_{24})$                                                                                          |
| DGK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | $\dot{m}_1 = \dot{m}_{2'2'}$                                                                                                                                                                                                                                | $\dot{Q}_{y,DGK} = \dot{m}_{2'2'}c_p(T_{2'2'} - T_1)$                                                                                       |
| Burada $\dot{W}_p[kW]$ , $\dot{W}_{ORCT}$ , $c_p \left[ \frac{kJ}{kgK} \right]$ ve $\dot{Q}[kW]$ $\dot{W}_p[kW]$ , $\dot{W}_{ORCT}$ , $c_p \left[ \frac{kJ}{kgK} \right]$ ve $\dot{Q}[kW]$ sırasıyla pompa ve türbin güçlerini, iş akışkanının özgül ısı değeri ve bileşenlerdeki ısı transfer hızını ifade etmektedir. |                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                             |



Şekil 33. Beş farklı ORÇ iş akışkanı için ORÇ sistemi enerji verimlilik değerleri karşılaştırılması.

Tablo 44. Önerilen sistemin enerjetik açıdan optimum ORÇ iş akışkanı için enerji analizi sonuçları.

| AIY sistemi                                              |        | AŞÇ sistemi                                           |      | ORÇ sistemi                                               |                                                | DGK sistemi                                             |       |
|----------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------------------------|------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------|
| Sirkülasyon oranı, $f$                                   | 18,27  | Heat transfer rate in evaporator, $\dot{Q}_{EV2}[kW]$ | 4000 | Yoğuşturucudaki ısı transfer hızı, $\dot{Q}_{ORCCon}[kW]$ | 3497                                           | Kolektördeki gerekli ısı transfer hızı, $\dot{Q}_y[kW]$ | 9671  |
| Isı etki katsayısı, $ITK \left[\frac{s}{kJ} s/kJ\right]$ | 0,465  | Coefficient of performance, $COP$                     | 1,01 | ORÇ çevrimindeki ısı girdisi akımı, $\dot{Q}_{in}[kW]$    | 4497                                           | Gerekli kolektör alanı, $A[m^2]$                        | 21434 |
| Buharlaştırıcıdaki ısı transfer hızı $\dot{Q}_{EV1}[kW]$ | 2284   |                                                       |      |                                                           | ORÇ çevriminin enerji verimliliği, $\eta_{th}$ | 0,22                                                    |       |
| Gerekli pompalama gücü, $\dot{W}_{P,AIY}[kW]$            | 2978,4 |                                                       |      |                                                           |                                                |                                                         |       |
| Yoğuşturucudaki ısı transfer hızı, $\dot{Q}_{Con}[kW]$   |        |                                                       |      | 2456                                                      |                                                |                                                         |       |
| Kaynatıcıdaki ısı transfer hızı, $\dot{Q}_{Gen}[kW]$     |        |                                                       |      | 7387                                                      |                                                |                                                         |       |

### 3.3.4.2 Ekserji Analizi

Önerilen sistem üzerinde termodinamiğin ikinci yasası prensipleriyle uyumlu olacak şekilde enerji kalitesini değerlendirmek için geleneksel ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirme, sistem bileşenlerinin iyileştirme potansiyeliyle ilgili geliştirme olanaklarının ortaya çıkarılmasını sağlamıştır. Bu analizde, hem fiziksel ve kimyasal ekserji değerleri hesaplamalara dahil edilmiştir. Tablo 45'te belirtilen ekserji denge denklemleri kullanarak uygulanan bu analiz ile sistem bileşenleri, alt sistemler ve genel sistem için ekserji yıkım akımları ve ekserji verimlilik değerleri belirlenmiştir.



Tablo 45. Önerilen sistem için ekserji denge denklemleri.

| Bileşen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Ekserji denge denklemi                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $\dot{E}x_{d,Gen} = \dot{Q}_{Gen} \left(1 - \frac{T_0}{T_{Gen}}\right) + [\dot{m}_{18}\dot{E}x_{18} - \dot{m}_{21}\dot{E}x_{21} - \dot{m}_{13}\dot{E}x_{13}]$                                               |
| Con                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $\dot{E}x_{d,Con} = -\dot{Q}_{Con} \left(1 - \frac{T_0}{T_{Con}}\right) + [\dot{m}_2\dot{E}x_2 - \dot{m}_3\dot{E}x_3]$                                                                                      |
| P1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\dot{E}x_{d,P1} = \dot{W}_{P1} + [\dot{m}_3\dot{E}x_3 - \dot{m}_4\dot{E}x_4]$                                                                                                                              |
| P2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\dot{E}x_{d,P2} = \dot{W}_{P2} + [\dot{m}_6\dot{E}x_6 - \dot{m}_7\dot{E}x_7]$                                                                                                                              |
| P3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\dot{E}x_{d,P3} = \dot{W}_{P3} + [\dot{m}_{18}\dot{E}x_{18} - \dot{m}_{19}\dot{E}x_{19}]$                                                                                                                  |
| P4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\dot{E}x_{d,P4} = \dot{W}_{P4} + [\dot{m}_{16}\dot{E}x_{16} - \dot{m}_{17}\dot{E}x_{17}]$                                                                                                                  |
| EV1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $\dot{E}x_{d,EV1} = \dot{Q}_{EV1} \left(1 - \frac{T_0}{T_{EV1}}\right) + [\dot{m}_4\dot{E}x_4 - \dot{m}_5\dot{E}x_5]$                                                                                       |
| EV2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $\dot{E}x_{d,EV2} = \dot{Q}_{EV2} \left(1 - \frac{T_0}{T_{EV2}}\right) + [\dot{m}_4\dot{E}x_{10} - \dot{m}_5\dot{E}x_{11}]$                                                                                 |
| ABS1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $\dot{E}x_{d,ABS1} = -\dot{Q}_{ABS1} \left(1 - \frac{T_0}{T_{ABS1}}\right) + [\dot{m}_{20}\dot{E}x_{20} + \dot{m}_{12}\dot{E}x_{12} - \dot{m}_{19'19}\dot{E}x_{19'19}]$                                     |
| ABS2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $\dot{E}x_{d,ABS2} = \dot{Q}_{ABS2} \left(1 - \frac{T_0}{T_{ABS2}}\right) + [\dot{m}_{16}\dot{E}x_{16} - \dot{m}_{11}\dot{E}x_{11} - \dot{m}_{15}\dot{E}x_{15}]$                                            |
| SHX1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $\dot{E}x_{d,SHX1} = (\dot{m}_{20}\dot{E}x_{20} + \dot{m}_7\dot{E}x_7 - \dot{m}_{12}\dot{E}x_{12})$                                                                                                         |
| SHX2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $\dot{E}x_{d,SHX2} = (\dot{m}_{17}\dot{E}x_{17} - \dot{m}_{13}\dot{E}x_{13})$                                                                                                                               |
| V1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\dot{E}x_{d,V1} = (\dot{m}_{20'20}\dot{E}x_{20'20} - \dot{m}_{21}\dot{E}x_{21})$                                                                                                                           |
| V2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\dot{E}x_{d,V2} = (\dot{m}_{12'12}\dot{E}x_{12'12} - \dot{m}_{13}\dot{E}x_{13})$                                                                                                                           |
| V3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\dot{E}x_{d,V3} = (\dot{m}_9\dot{E}x_9 - \dot{m}_{10}\dot{E}x_{10})$                                                                                                                                       |
| V4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | $\dot{E}x_{d,V4} = (\dot{m}_{14}\dot{E}x_{14} - \dot{m}_{15}\dot{E}x_{15})$                                                                                                                                 |
| ORCT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $\dot{E}x_{d,T} = (\dot{m}_{23}\dot{E}x_{23} - \dot{m}_{22}\dot{E}x_{22}) - \dot{W}_t$                                                                                                                      |
| ORCcon                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | $\dot{E}x_{d,ORCcon} = -\dot{Q}_{ORCcon} \left(1 - \frac{T_0}{T_{ORCcon}}\right) + [\dot{m}_{23}\dot{E}x_{23} - \dot{m}_{24}\dot{E}x_{24}]$                                                                 |
| DGK                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | $\dot{E}x_{d,DGK} = A_k I \left(1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_{solar}}\right)^4 - \frac{4}{3} \frac{T_0}{T_{solar}}\right) - [\dot{m}_2 c_p (T_{2'} - T_1) - T_0 \ln \left(\frac{T_{2'}}{T_1}\right)]$ |
| Burada $T_0[K]$ , $T_{solar}[K]$ , $A_k[m^2]$ , $I[kW/m^2]$ , $\dot{E}x[kW]$ , $ve \dot{E}x_d[kW]$ sırasıyla ölü hal ve güneş sıcaklıkları, güneş kolektörünün kesit alanı, kolektör yüzeyine gelen güneş ışıının yoğunluğu, ilgili akımları ekserji akımları ve sistem bileşenlerindeki ekserji yıkım akımlarını ifade etmektedir. |                                                                                                                                                                                                             |

### 3.3.4.3 Yıllık Simülasyon için Önerilen Sistemin TRNSYS Modeli

Enerji ve ekserji analizleri aracılığıyla önerilen sistem anlık olarak değerlendirilmiştir. Ancak, bu değerlendirme bilgilendirici olsa da, sistemin gerçek performansı ile ilgili kapsamlı bir anlayış sağlamada yetersiz kalmıştır. Bu nedenle, önerilen sistemin İzmir merkezli bir örnek üzerine odaklanan bir TRNSYS modeli oluşturulmuş ve önerilen sistem için yıllık performans simülasyonlarını gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır. Yıllık performans simülasyonu için iki farklı konfigürasyon incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. İlk olarak, TRNSYS modeli, DGK, AIY, ORÇ ve ASÇ sistemlerini entegre ederek dışarıdan sağlanan elektrik tüketimiyle birlikte çalıştırılmıştır. Bu konfigürasyonun yıllık simülasyon performans sonuçları, mevcut benzer ölçekli güç ve soğutma tesisleriyle ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Diğer taraftan, ikinci konfigürasyonda elektrik tüketimi, güneş enerjisi destekli PV-T sistemi ile AIY, ORÇ ve ASÇ sistemlerini entegre ederek içsel olarak karşılanmıştır. Bu simülasyonlar boyunca DGK ve güneş enerjisi destekli PV-T bileşenleri doğrudan TRNSYS'ten alınırken, diğer bileşenler sorunsuz bir şekilde ilgili EES modellerinin TRNSYS'e dışarıdan çağırılması yoluyla entegre edilmiştir. Önerilen sistem için yıllık simülasyon performansı açısından en uygun konfigürasyon belirlenmiştir.

### 3.3.4.4 Ekonomik Değerlendirme ve Benzer Ölçekli Tesislerle Önerilen Sistemin Karşılaştırılması

Bir önceki bölümde belirtilen iki farklı konfigürasyonu içerecek şekilde önerilen sistemin ekonomik değerlendirmesi ve karşılaştırması, sistemin benzer ölçekli sistemlere göre etkili kullanım potansiyelini göstermek üzere gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirme kapsamında ilk yatırım ve yıllık çalışma maliyetleri, geri ödeme süresi, iç karlılık oranı, net bugünkü değer ve seviyelendirilmiş elektrik ve soğutma yükü kapasite maliyetleri gibi faktörler dikkate alınmıştır. Ekonomik değerlendirme ve karşılaştırmalı analizin sonuçlarına göre, önerilen sistemin ikinci konfigürasyonunun diğer sistemlere kıyasla yüksek kapasiteli soğutma yükü ve elektrik ihtiyaçlarını karşılamak için güçlü bir alternatif olarak ortaya çıktığı öngörülmüştür.

### 3.3.4.5 Önerilen Sistemin Tercih Edilen Konfigürasyonu İçin Yaşam Döngüsü Maliyeti ve Belirsizliği

Önerilen sistemin daha uygun teknoekonomik parametrelere sahip olan konfigürasyonu için paranın zaman değeri dikkate alınarak sistemin tüm ömrü boyunca ilgili toplam maliyeti belirleyebilmek adına ömür çevrimi analizi yapılmıştır. Bu analizden elde edilen ömür çevrimi maliyetinin seçilen çeşitli teknik ve ekonomik parametrelerin değişimine bağlı olarak belirsizliğini belirleyebilmek için ise Monte Carlo simülasyonu yapılmıştır. Ömür çevrimi maliyeti 86 numaralı denklemle hesaplanmıştır.

$$LCC = IIC + \sum_{t=1}^n \left( \frac{O\&MC}{(1+d)^t} \right) \quad (86)$$

Burada,  $LCC$ ,  $IIC$ ,  $O\&MC$ ,  $n$ ,  $d$  ve  $t$  sırasıyla ömür çevrimi, ilk yatırım ve bakım ve onarım maliyetlerini, analiz için seçilen süre sınırını, iskonto oranını ve süreyi ifade etmektedir.

### 3.3.4.6 Parametrik Çalışma

Parametrik çalışma ile önerilen yeni sistemin optimal konfigürasyonu için seçilen tasarım parametrelerinin ASÇ sistemi COP değeri, ORÇ sistemi enerji verimliliği, genel sistem ekserji verimliliği ve gerekli güneş kolektör alanını nasıl etkilediği incelenmiştir.

### 3.3.4.7 Önerilen Sistemin Güneş Enerjisi Kaynaklı Sürdürülebilirlikle İlişkili Performans Parametrelerine Göre Karşılaştırılması

Önerilen sistem Chong ve arkadaşlarının 2022 yılında yayınladıkları çalışmalarında (Chong et al.,2022) sundukları farklı enerji kaynaklarının sürdürülebilirlikle ilişkili sistem performans parametrelerine göre



karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan sistem performans parametreleri içerisinde enerji yatırım getirisi (Walmsley et al.,2018), karbon ve su ayak izleri (Fan et al.,2021) yer almıştır.

### 3.3.4.8 Eksergoekonomik Optimizasyon

Önerilen yeni sistem için tasarım parametrelerinin optimizasyonu, çeşitli eksergoekonomik performans değerlendirme kriterlerini içeren tek ve çok amaçlı fonksiyonlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu kriterler, ORÇ sisteminin enerji verimliliği, ASÇ sisteminin COP değeri, genel sistem ekserji verimliliği, toplam yatırım maliyeti ve geri ödeme süresine odaklanan enerjiik, ekserjitik ve ekonomik parametreleri içermiştir. Farklı amaç fonksiyonları ve çiftleri, hem tek hem de çok amaçlı optimizasyon süreçleri için değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu değerlendirme için “Baskın olmayan genetik sıralama algoritması” (NGSA-II) kullanılmıştır. Ayrıca, çok amaçlı optimizasyon sürecinde, en iyi çözüm Pareto sınırından “İdeal Çözüm Benzerliğine Göre Tercih Sıralaması Tekniği”(TOPSIS) yöntemi kullanılarak seçilmiştir.

### 3.3.5 Bulguların Değerlendirilmesi ve Tartışma

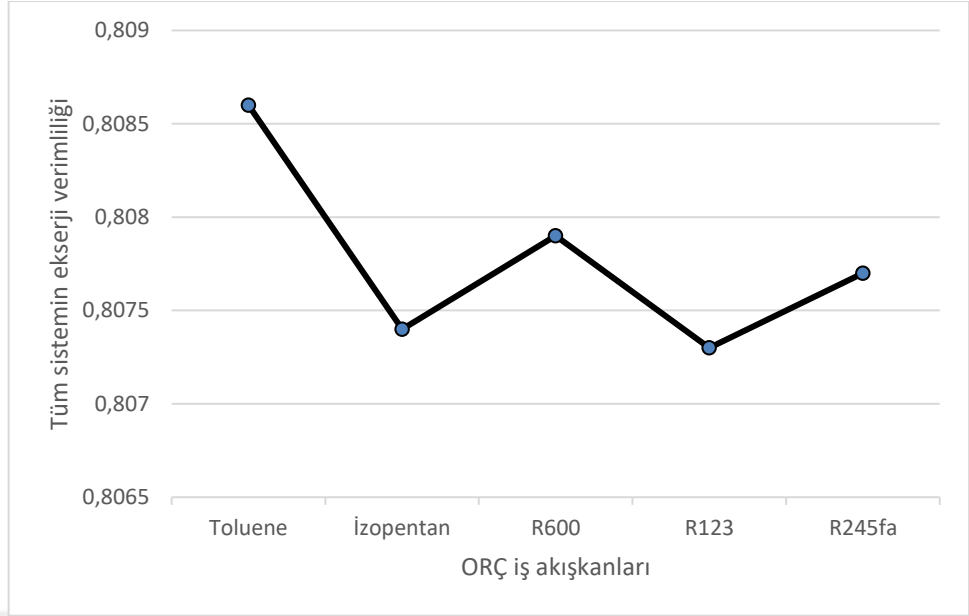
#### 3.3.5.1 Enerji Analizi Sonuçları

Tablo 44'te, önerilen sistem için enerji analizi sonuçları özet bir şekilde sunulmuştur. Bu analizden elde edilen veriler, açıkça AIY'nin ısı etki katsayısı, ORÇ'nin enerji verimliliği ve ASÇ için COP değerlerinin sırasıyla 0,46, 0,22 ve 3,10 olduğunu göstermiştir. Bu değerler, bu parametreleri düşük sıcaklık seviyeli atık ısı kaynakları kullanılarak geleneksel PV sistemi destekli güç ve tek kademeli ASÇ sistemleri için elde edilen değerlerden daha yükseğe taşıma amacının bu çalışma ile başarıyla gerçekleştirildiğini kanıtlamıştır. Elde edilen COP değeri, ASÇ sistemindeki kaynatıcı kullanımının ABS1'den çıkan yüksek sıcaklıklı LiBr-su çözeltilisinin soğutma sistemine entegrasyonu yoluyla kaldırılmasından kaynaklanmıştır. Öte yandan, ORÇ sisteminin enerji verimliliği, artan ABS1'deki ısı transfer hızına ve ORÇ çalışma akışkanının kütleli debisine bağlı olarak azalan ORÇ sistemi ısı girdisi nedeniyle artmıştır. Bu tablodaki bulgulara göre, önerilen

sistemin optimal çalışması için 21434  $m^2$  'lik güneş kolektör alanına ihtiyaç duyulmuştur.

### 3.3.5.2 Ekserji Analizi Sonuçları

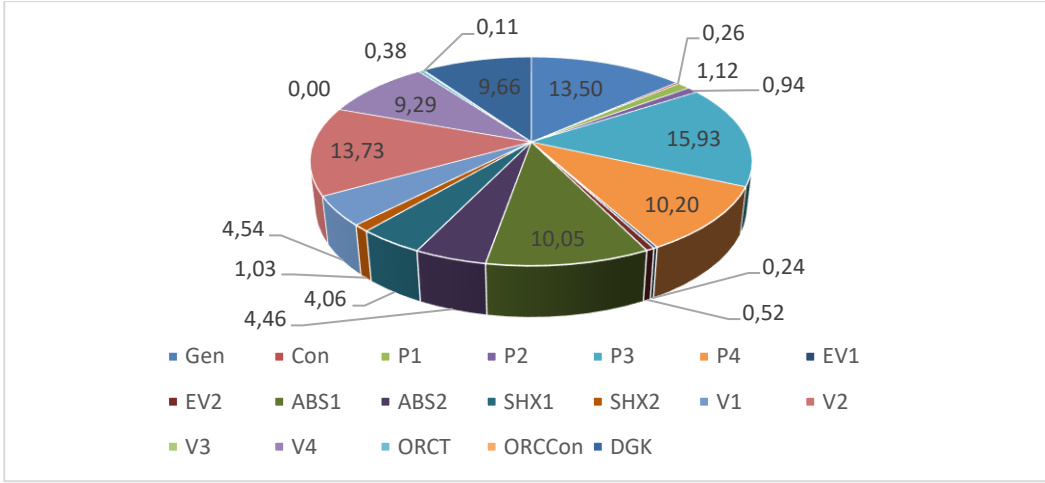
Önerilen sistem tasarımının ekserji analizi için, net ORCT mekanik gücü ve soğutma yükü başlıca ana çıktılara olarak ele alınarak ekserjitik ürün olarak sınıflandırılmıştır. Öte yandan, pompalama işleri, sistemin çalışması için dış bir kaynak gerektirdiğinden dolayı ekserjitik yakıt olarak kategorize edilmiştir. Şekil 34'te, enerji analizi bölümünde kullanılan beş farklı ORÇ iş akışkanı için genel ekserji verimlilik değerlerinin karşılaştırmalı analizi sunularak ekserji perspektifinden en uygun seçeneği belirlemek amaçlanmıştır. Enerji analizi sonuçlarıyla birleştirildiğinde Toluene'nin burada en uygun ORÇ iş akışkanı olduğu tespit edilmiştir. Toluen'i optimal çalışma akışkanı olarak kullanan önerilen sistem için ayrıntılı geleneksel ekserji analizi sonuçları, Tablo 46 ve Şekil 35'te açıklanmıştır. Tablo 46'da, sistemin toplam ekserji yıkım akımının 13245,46 kW olduğu açıkça belirtilmiştir. Daha ayrıntılı bir incelemede, ORÇ ve DGK alt sistemlerinin diğer alt sistemlere göre daha düşük ekserjitik verimlere sahip olduğu açıkça ortaya koyulmuştur. Bu durum, DGK için güneş enerjisinin daha yüksek ekserji yakıt akımından ve ORCT'nin düşük ekserji verimine sahip ekipmanların negatif etkilerini dengeleme yeteneğinden yoksun olmasından kaynaklanmıştır. Bu söz konusu durumda sistem için yüksek ekserji yakıt değerlerine katkıda bulunulduğu saptanmıştır. Şekil 35'te, tüm sistem genelindeki ekserji yıkımının dağılımını göstererek, P3, V2 ve Gen'in sırasıyla %15,93, %13,73 ve %13,50 oranlarında en önemli katkı sağlayan ana bileşenler olduğu vurgulanmıştır. Öte yandan, V3, EV1 ve Con, sırasıyla %0,0005, %0,24 ve %0,26 oranlarında en az etkili bileşenler olarak ortaya çıkmıştır. Bu farklılık, P3, V2 ve Gen bileşenlerinde artan ısı transfer hızından, V2'deki entropi farklarından ve P3'ün LiBr konsantrasyon değişimlerine bağlı olarak giriş ve çıkış akışları için entalpi değişimlerinden kaynaklanan yüksek ekserji yakıt akımından ötürü ortaya çıkmıştır.



Şekil 34. Beş farklı ORÇ iş akışkanı için tüm sistemin ekserji verimlilik değerlerinin karşılaştırılması.

Tablo 46. Önerilen sistemin optimal ORÇ iş akışkanı için geleneksel ekserji analizi sonuçları.

| Bileşen     | Ekserji ürün akımı, $\dot{E}x_p [kW]$ | Ekserji yakıt akımı, $\dot{E}x_F [kW]$ | Ekserji yıkım akımı, $\dot{E}x_D [kW]$ | Ekserji verimliliği, $\eta_{ex}$ |
|-------------|---------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| Gen         | 1256                                  | 3044                                   | 1789                                   | 0,41                             |
| Con         | 123                                   | 157                                    | 33,91                                  | 0,78                             |
| P1          | 17,34                                 | 165,7                                  | 148,4                                  | 0,1                              |
| P2          | 40,6                                  | 165,7                                  | 125,1                                  | 0,25                             |
| P3          | 537,2                                 | 2647                                   | 2110                                   | 0,2                              |
| P4          | 64,52                                 | 1415                                   | 1350                                   | 0,05                             |
| EV1         | 356,7                                 | 388,3                                  | 31,54                                  | 0,92                             |
| EV2         | 141,3                                 | 209,8                                  | 68,44                                  | 0,67                             |
| ABS1        | 1307                                  | 2638                                   | 1332                                   | 0,5                              |
| ABS2        | 23,99                                 | 614,3                                  | 590,3                                  | 0,04                             |
| SHX1        | 9560                                  | 10098                                  | 537,2                                  | 0,95                             |
| SHX2        | 9423                                  | 9560                                   | 137                                    | 0,99                             |
| V1          | 9560                                  | 10161                                  | 600,1                                  | 0,94                             |
| V2          | 12729                                 | 14547                                  | 1818                                   | 0,88                             |
| V3          | 2,36                                  | 2,43                                   | 0,06                                   | 0,98                             |
| V4          | 9766                                  | 10997                                  | 1231                                   | 0,88                             |
| ORCT        | 1000                                  | 1050                                   | 49,66                                  | 0,95                             |
| ORCcon      | 44,42                                 | 58,67                                  | 14,26                                  | 0,76                             |
| DGK         | 16,01                                 | 1295                                   | 1279                                   | 0,01                             |
| AIY çevrimi |                                       |                                        |                                        | 0,822                            |
| ASÇ çevrimi |                                       |                                        |                                        | 0,818                            |
| ORÇ çevrimi |                                       |                                        |                                        | 0,63                             |
| Tüm sistem  |                                       |                                        |                                        | 0,81                             |

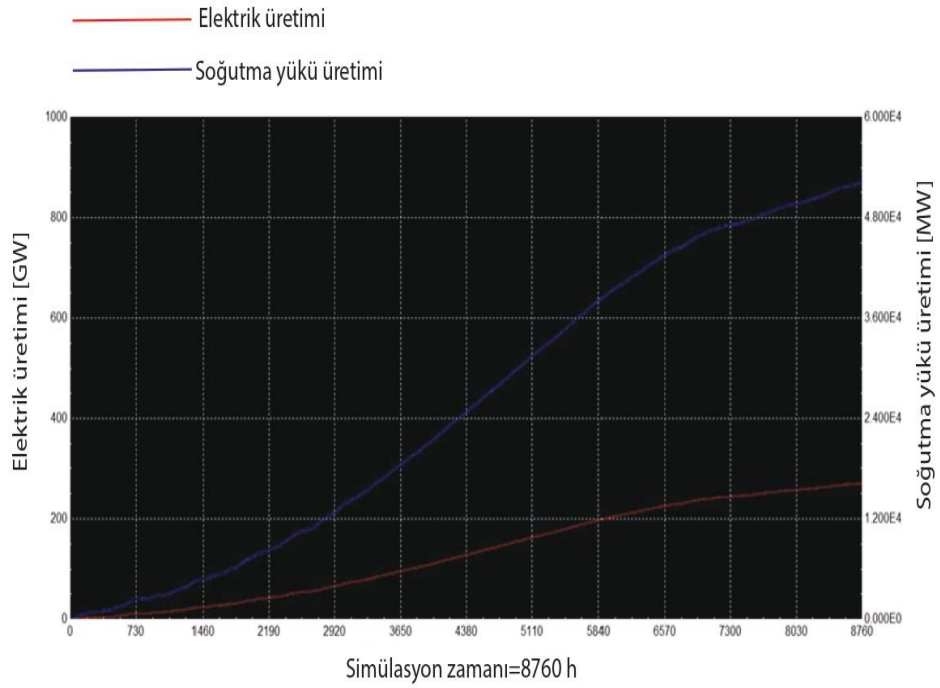


Şekil 35. Tüm sistemin ekserji yıkım akımının sistem bileşenleri arasındaki yüzdesel dağılımı.

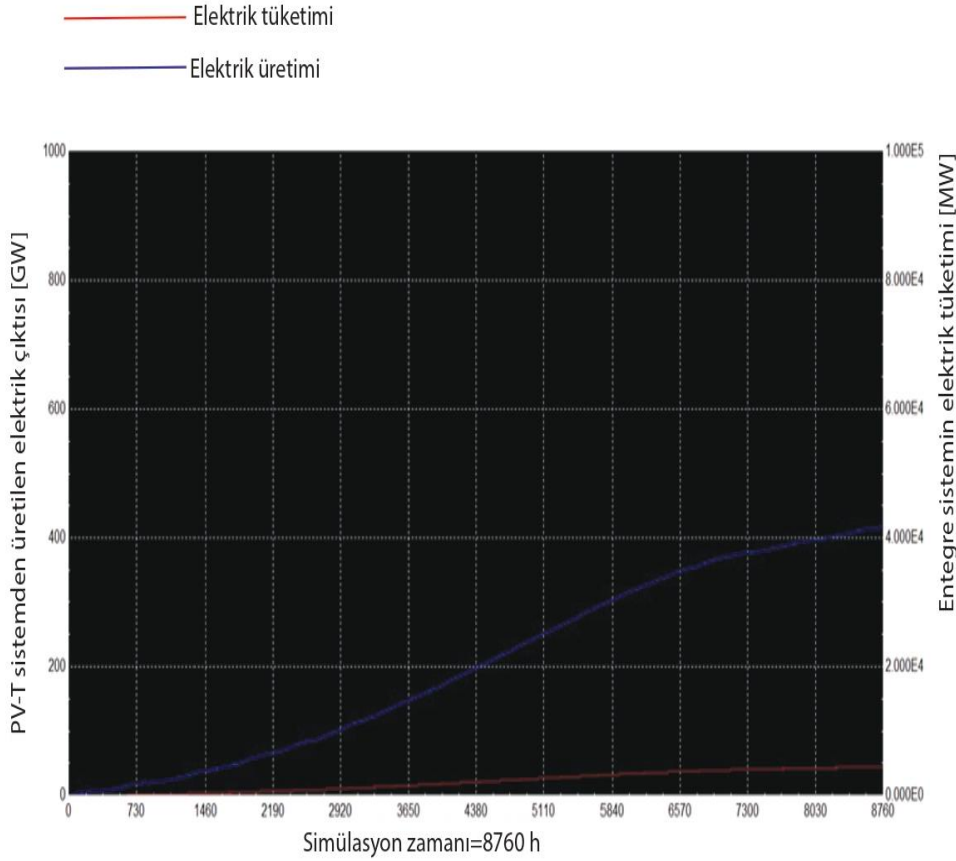
### 3.3.5.3 TRNSYS ile Yıllık Simülasyon Sonuçları

Analiz bölümünde detaylandırılan ilk konfigürasyon için TRNSYS simülasyon sonuçları, yıllık soğutma yükü ve elektrik üretimi Şekil 36'da sunulmuştur. Bu simülasyonlara dayanarak toplam yıllık soğutma yükü ve elektrik üretimi sırasıyla 53264,8 MWh ve 270,6 GWh olarak ölçülmüştür. Önerilen sistemin teknik potansiyelini belirlemek amacıyla benzer ölçekteki güç ve soğutma tesisleriyle karşılaştırmalı değerlendirmesi yapılmıştır. Güç santrali karşılaştırması için Saguario, Rende, Iresen ve Ougadougou ORÇ güneş enerjisi santralleri (Permana et al ., 2022), net ORCT mekanik güç (1000 kW) için bir referans olarak alınmıştır. Soğutma tesisi analizi için değerlendirmeler, Schüppler ve arkadaşlarının çalışması (Schüppler et al.,2022), Bowling Green State University merkezi soğutma (Bowling Green State University-Centrex Central Chiller Plant, 2016), Cleveland Hopkins International havaalanı soğutmalı su (Chilled Water Plant Assessment & Criteria Design Cleveland Airport System, 2023) ve ZEOSOL entegre güneş ısıtma ve soğutma tesisleri (Integrated solar heating and cooling unit based on a novel zeolite chiller and heat pump, 2020) raporları dahil olmak üzere her biri için 4000 kW soğutma yükü üretimini içermiştir. Önerilen sistem, referans güç santrali çalışması ile karşılaştırıldığında, yıllık elektrik üretiminin 100 kat daha yüksek olduğu ortaya koyulmuştur. Bu sonuç, genişletilmiş güneş kolektör alanından, ABS1'deki artan ısı transfer hızından, ORÇ sistemine olan artan ısı

girdisinden ve daha yüksek elde edilen net ORCT mekanik gücünden kaynaklanmıştır. Referans soğutma tesisi çalışmaları ile karşılaştırıldığında, yıllık üretilen soğutma yükünün referans çalışmaların ortalama 1,35 katı olduğu ve bunun temel sebebinin genişletilmiş güneş kolektör alanı ve EV2'deki iş akışkanının kütsel debisindeki artıştan kaynaklandığı görülmüştür. Ayrıca, Gen'in giriş akımındaki özgül entalpisindeki azalma, ASC çevrimindeki LiBr konsantrasyonunun azalmasından kaynaklanmıştır ve bu durum da bu sonuca katkıda bulunmuştur. İkinci konfigürasyonun TRNSYS yıllık simülasyon sonuçları, Şekil 37'de gösterildiği gibi, yıllık elektrik üretiminin ve tüketiminin sırasıyla 40,06 GWh ve 38,48 GWh olduğu saptanmıştır. Bu şekil, ikinci konfigürasyon ile önerilen sistemin elektrik tüketiminin tamamen dengelendiğini ve fazlasının sistem için ek net elektrik çıktısı oluşturduğunu göstermiştir.



Şekil 36. Önerilen sistemin ilk konfigürasyon için TRNSYS simülasyon sonuçları.



Şekil 37. Önerilen sistemin ikinci konfigürasyon için TRNSYS simülasyon sonuçları.

### 3.3.5.4 Önerilen Sistemin Ekonomik Değerlendirmesi ve Benzer Ölçekli Sistemlerle Karşılaştırılması

Tablo 47’de, önerilen sisteminin ilk konfigürasyonuna karşılık gelen ekonomik değerlendirme bulguları özetlenmiştir . Ekonomik yönleri değerlendirmek ve benzer ölçekli güç ve soğutma tesisleri ile karşılaştırmayı kolaylaştırmak için, daha önceki bölümlerde belirtilen aynı referans tesisler seçilmiştir. Mevcut referans güç ve soğutma tesislerinde toplam başlangıç yatırımlarının ve yıllık çalışma maliyetlerinin sırasıyla 6-10 milyon ABD Doları, 5-9 milyon ABD Doları, 6-8 milyon ABD Doları ve 5-7 milyon ABD Doları arasında değiştiği saptanmıştır. Geri ödeme sürelerinin ise sırasıyla 10 ile 15 yıl ve 5 ile 10 yıl arasında değiştiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, önerilen sistemin ekonomik parametreleri başlangıç toplam yatırımı için 10,81 milyon ABD Doları,

yıllık çalışma maliyeti için 1,41 milyon ABD Doları ve geri ödeme süresi olarak ise 4,27 yıl olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, sistemin ekonomik avantajını vurgulayarak, sadece soğutma çıktısını üreten sistemlerle neredeyse aynı maliyetle 1000 kW elektrik ve 4000 kW soğutma yükü üretebilme yeteneğini ortaya koymuştur. Önerilen sistem için yıllık enerji maliyeti kazancı, seviyelendirilmiş soğutma yükü elektrik üretim kapasite maliyetleri sırasıyla 5,32 milyon ABD Doları, 0,0204 ABD Doları/kWh ve 0,0283 ABD Doları olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar daha önce sunulan hipotezi doğrulamıştır. Bu karşılaştırmalar, DGK, AIY, ORÇ ve ASÇ'nin önerilen sistemle entegre edilmesinin mevcut soğutma-elektrik kojenerasyon sistemlerine göre daha ekonomik bir alternatif sunduğunu kesin bir şekilde göstermiştir. İkinci konfigürasyon için ekonomik değerlendirme sonuçları Tablo 48'de detaylandırılmıştır. Başlangıç toplam yatırım ve yıllık çalışma maliyetleri, geri ödeme süresi, yıllık enerji maliyeti kazancı, seviyelendirilmiş soğutmanın ve elektrik üretim kapasitesi maliyetleri de dahil olmak üzere ekonomik parametreler sırasıyla 9,91 milyon ABD Doları, 1,29 milyon ABD Doları, 4,2 yıl, 9,25 ABD Doları, 0,014 ABD Doları/kWh ve 0,015 ABD Doları/kWh olarak rapor edilmiştir. Bu bulgular, ikinci konfigürasyonun referans tesisler ve başlangıç konfigürasyonu ile karşılaştırıldığında üstün tekno-ekonomik performansa sahip olduğunu doğrulamıştır. Bu geliştirilmiş performans, aynı DGK sistemi yakıtından elektrik ve termal enerjiyi birlikte üreten hibrit PV-T sistemlerinin daha yüksek termal verimliliğinden kaynaklanmıştır ve bu durum daha düşük güneş kolektör alanı gereksinimine yol açmıştır. PV-T sisteminde  $m^2$  başına daha yüksek kurulum, bakım ve onarım maliyetleri olmasına rağmen, sistemin elektrik tüketiminin önemli oranlarda olduğu durumlar için bu maliyet etkili bir şekilde karşılanmakta ve fazladan üretilen elektrik sisteme enerji tasarrufu maliyeti olarak katkıda bulunmaktadır.

Tablo 47. Önerilen sistemin seçilen ilk konfigürasyonu için ekonomik değerlendirme sonuçları.

|                                                |                              |
|------------------------------------------------|------------------------------|
| AIY çevriminin maliyeti                        | 3,18 milyon ABD Doları       |
| ASÇ çevriminin maliyeti                        | 965,73 bin ABD Doları        |
| ORÇ sisteminin maliyeti                        | 499,01 bin ABD Doları        |
| Elektrik motorunun maliyeti                    | 261,001 bin ABD Doları       |
| Elektrik maliyeti                              | 3,85 milyon ABD Doları       |
| DGK kurulum maliyeti                           | 96 ABD Doları/m <sup>2</sup> |
| Toplam direkt maliyet                          | 9,40 milyon ABD Doları       |
| Toplam indirekt maliyet                        | 1,41 milyon ABD Doları       |
| Toplam maliyet                                 | 10,81 milyon ABD Doları      |
| Geri ödeme süresi                              | 4,27 yıl                     |
| Net bugünkü değer                              | 5,33 milyon ABD Doları       |
| İç karlılık oranı                              | %9,39                        |
| Seviyelendirilmiş soğutma kapasitesi maliyeti  | 0,0204 ABD Doları/kWh        |
| Seviyelendirilmiş elektrik kapasitesi maliyeti | 0,0283 ABD Doları/kWh        |
| Yıllık çalışma maliyeti                        | 3,85 milyon ABD Doları       |
| Yıllık enerji geri kazanım maliyeti            | 2,20 milyon ABD Doları       |

Tablo 48. Önerilen sistemin seçilen ikinci konfigürasyonu için ekonomik değerlendirme sonuçları.

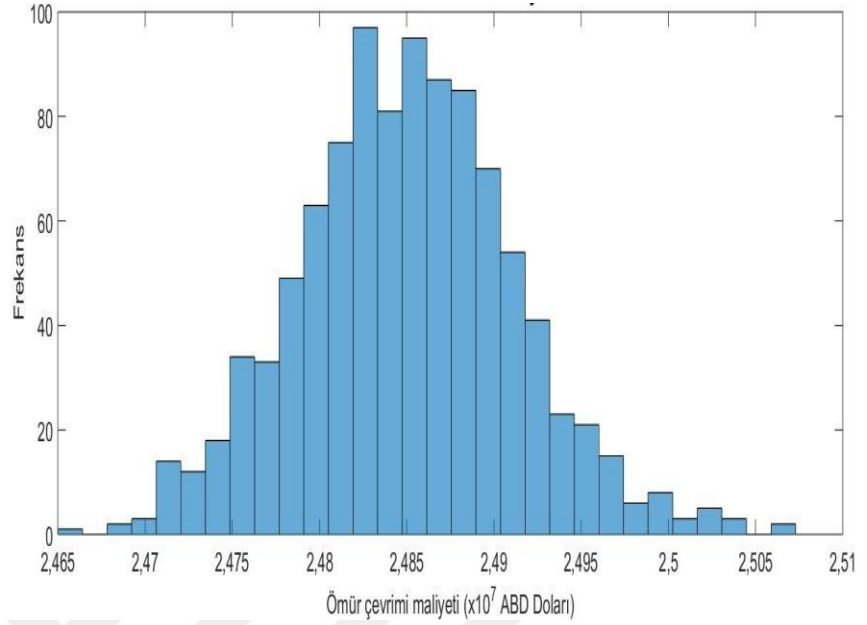
|                                                |                                |
|------------------------------------------------|--------------------------------|
| AIY çevriminin maliyeti                        | 3,18 milyon ABD Doları         |
| ASÇ çevriminin maliyeti                        | 965,73 bin ABD Doları          |
| ORÇ sisteminin maliyeti                        | 499,01 bin ABD Doları          |
| Elektrik motorunun maliyeti                    | 261,001 bin ABD Doları         |
| Elektrik maliyeti                              | 310 ABD Doları /m <sup>2</sup> |
| DGK kurulum maliyeti                           | 8,62 milyon ABD Doları         |
| Toplam direkt maliyet                          | 1,29 milyon ABD Doları         |
| Toplam indirekt maliyet                        | 9,91 milyon ABD Doları         |
| Toplam maliyet                                 | 9,26 milyon ABD Doları         |
| Geri ödeme süresi                              | 4,20 yıl                       |
| Net bugünkü değer                              | 5,325 milyon ABD Doları        |
| İç karlılık oranı                              | % 12,25                        |
| Seviyelendirilmiş soğutma kapasitesi maliyeti  | 0,0141 ABD Doları/kWh          |
| Seviyelendirilmiş elektrik kapasitesi maliyeti | 0,0158 ABD Doları/kWh          |

### 3.3.5.5 Önerilen Sistemin Tercih Edilen Konfigürasyonu İçin Yaşam Döngüsü Maliyeti ve Belirsizliği

Önerilen sistemin iki ayrı konfigürasyonu teknoekonomik parametrelerce karşılaştırılmış ve ikinci konfigürasyonun daha uygun parametrelere sahip olduğu belirlenmiştir. Söz konusu seçilen konfigürasyon için faiz oranı, PV-T sistemin verimliliği, PV-T sistemin bakım/onarım maliyeti ve ORCT'nin verimliliğindeki değişimler dikkate alınarak Monte Carlo yönteminin kullanımıyla yaşam önerilen sistemin yaşam döngüsü maliyet dağılımı Tablo 49'da gösterilmiştir.



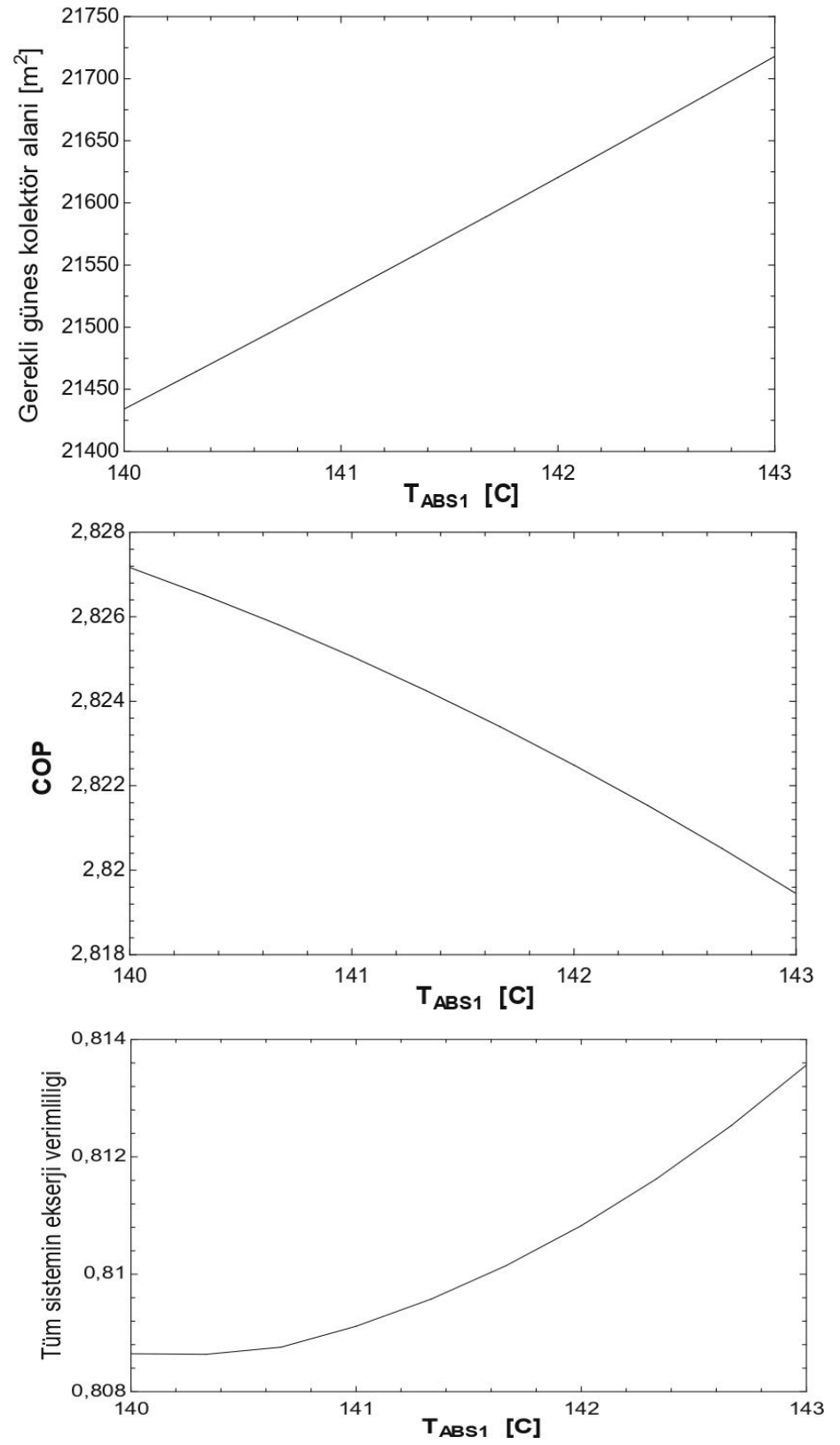
Tablo 49. Önerilen sistemin ikinci konfigürasyonunun ömür çevrimi maliyeti için Monte Carlo simülasyon sonuçları.



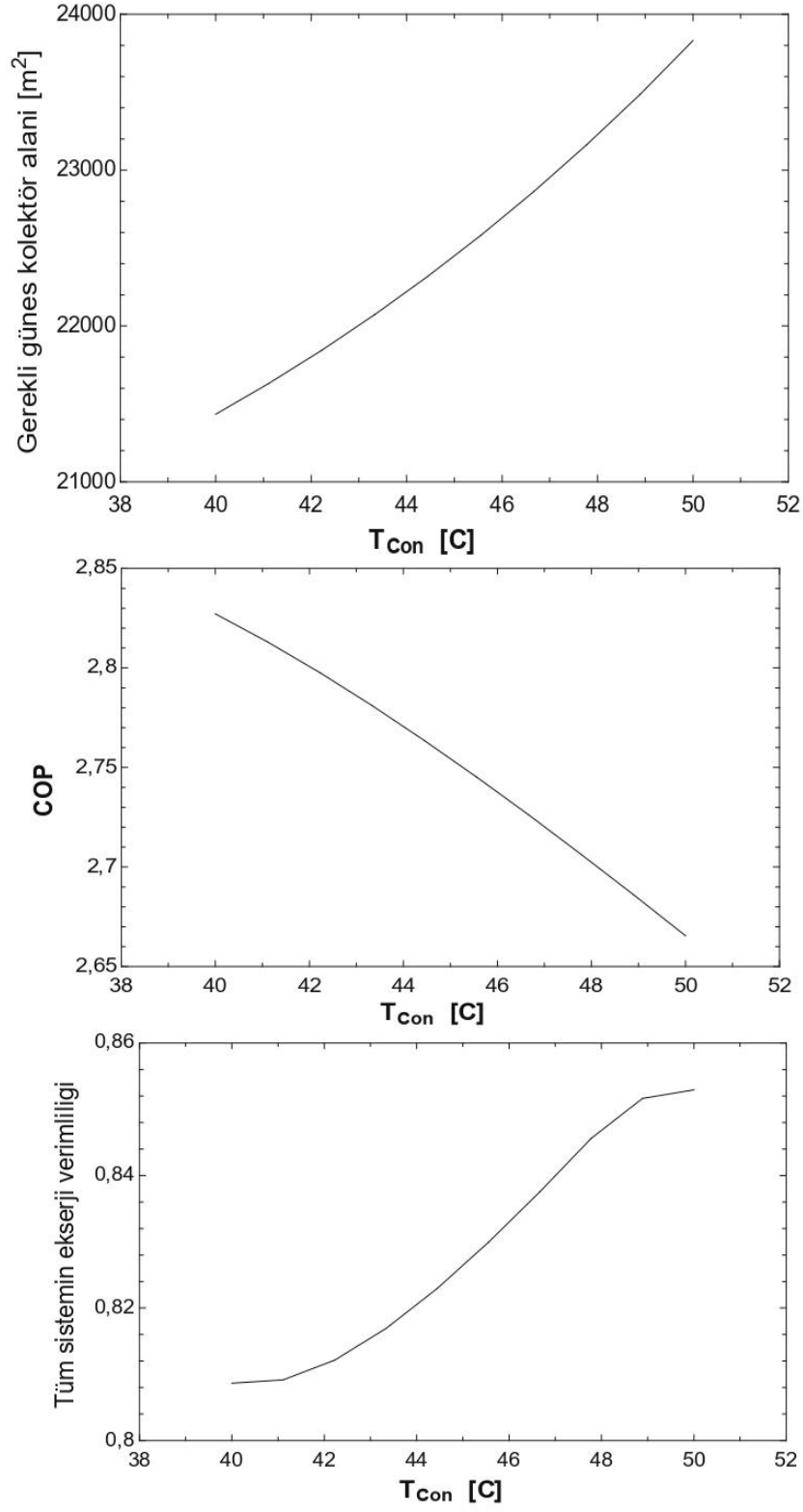
### 3.3.5.6 Parametrik Çalışma Sonuçları

Parametrik inceleme sürecinde, ABS1, ABS2, Con, EV2 ve ORCT için değişen sıcaklıkların ASÇ sisteminin COP değeri, ORÇ sisteminin enerji verimliliği ( $\eta_{ORC}$ ), tüm sistem için genel ekserji verimliliği ( $\eta_{ex,overall}$ ) ve gerekli güneş kolektör alanı (RSFA) üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu etkiler, Şekil 38-42 ile görsel olarak temsil edilmiştir. Şekil 38'de gösterildiği gibi, ABS1 sıcaklığının artmasıyla birlikte RSFA ve  $\eta_{ex,overall}$  artmış, COP değeri azalmış ve  $\eta_{ORC}$  sabit kalmıştır. Bu gözlem, ASÇ sistemindeki artan pompa işi, Gen'deki artan ısı transfer hızı, aynı ekserji yakıt akımı için ekserji ürün akımı ve EV1'deki ısı transfer hızının azalması kaynaklı olarak gerçekleşmiştir. Bu değişim, ABS2'den çıkan iş akışkanının kütleli debisinin artması ve EV1'e giren iş akışkanının kütleli debisinin azalması nedeniyle meydana gelmiştir. Şekil 39'a bakıldığında, RSFA ve  $\eta_{ex,overall}$  artarken, COP değeri azalmış ve  $\eta_{ORC}$  yükselen Con sıcaklığıyla sabit kalmıştır. Bu fenomen, ASÇ sisteminde artan pompa işi, Gen ve EV1'deki artan ısı transfer hızları ve AIY sistemindeki azalan pompa işi ile ilişkilendirilmiştir. Bu söz

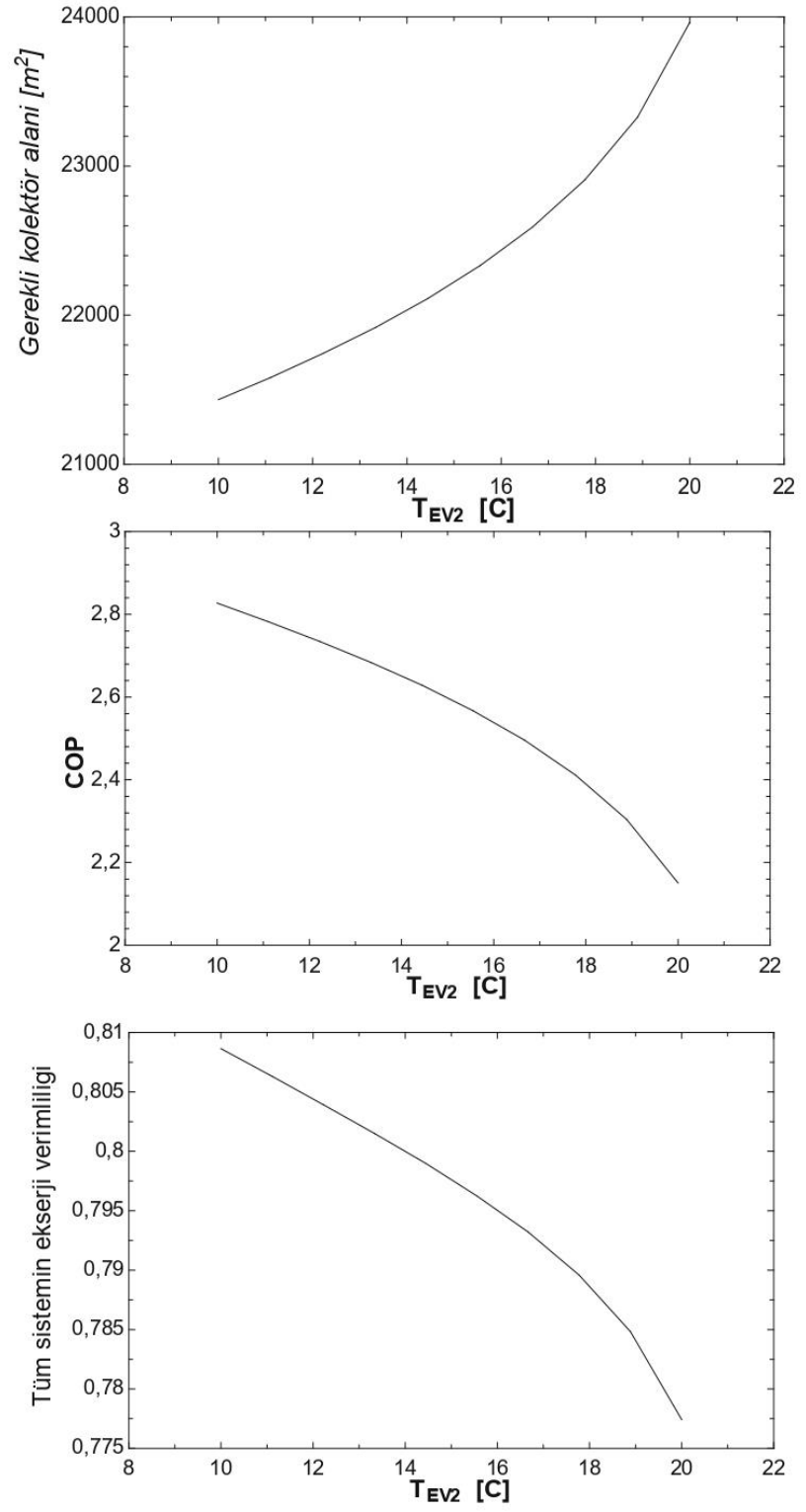
konusu değişim, ABS2'den çıkan iş akışkanının kütleel debisindeki artış ve EV1'e giren iş akışkanının kütleel debisindeki azalmadan etkilenmiştir. Şekil 40, EV2 sıcaklığının artmasıyla birlikte RSFA'nın arttığını,  $\eta_{ex,overall}$  ve COP değerinin azaldığını ve  $\eta_{ORC}$ 'nin sabit kaldığını göstermiştir. Bu eğilim, ASÇ sisteminde artan pompa işi, Gen ve EV1'deki artan ısı transfer hızları ve EV2'nin azalan sıcaklığına bağlı olarak ekserji ürün akımının azalması ile ilişkilendirilmiştir. Bu değişim, ABS2'den çıkan iş akışkanının kütleel debideki artış ve EV1'e giren iş akışkanının kütleel debisindeki azalma nedeniyle meydana gelmiştir. Şekil 41'de, ABS2 sıcaklığının artmasıyla birlikte COP değeri ve  $\eta_{ex,overall}$  artmış, RSFA azalmış ve  $\eta_{ORC}$  sabit kalmıştır. Bu değişim, ASÇ sisteminde azalan pompa işi, Gen ve EV1'deki artan ısı transfer hızları ve ekserji yakıt akımının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Söz konusu değişim, ABS2'den çıkan iş akışkanının kütleel debisindeki azalma ve EV1'e giren iş akışkanının kütleel debisindeki artıştan kaynaklanmıştır. Son olarak, Şekil 42, ORCT sıcaklığının artmasıyla birlikte COP değeri,  $\eta_{ORC}$  ve  $\eta_{ex,overall}$  artarken, RSFA azalmıştır. Bu değişim, ASÇ sisteminde azalan pompa işi, Gen ve EV1'deki artan ısı transfer hızları, ekserji yakıt akımı ve ORÇ sistemine giren ısı miktarı ile ilişkilendirilmiştir. Söz konusu değişim, ABS2'den çıkan iş akışkanının kütleel debisindeki azalma ve ORCT'nin giriş ve çıkış akımlarındaki entalpi farkındaki artıştan etkilenmiştir.



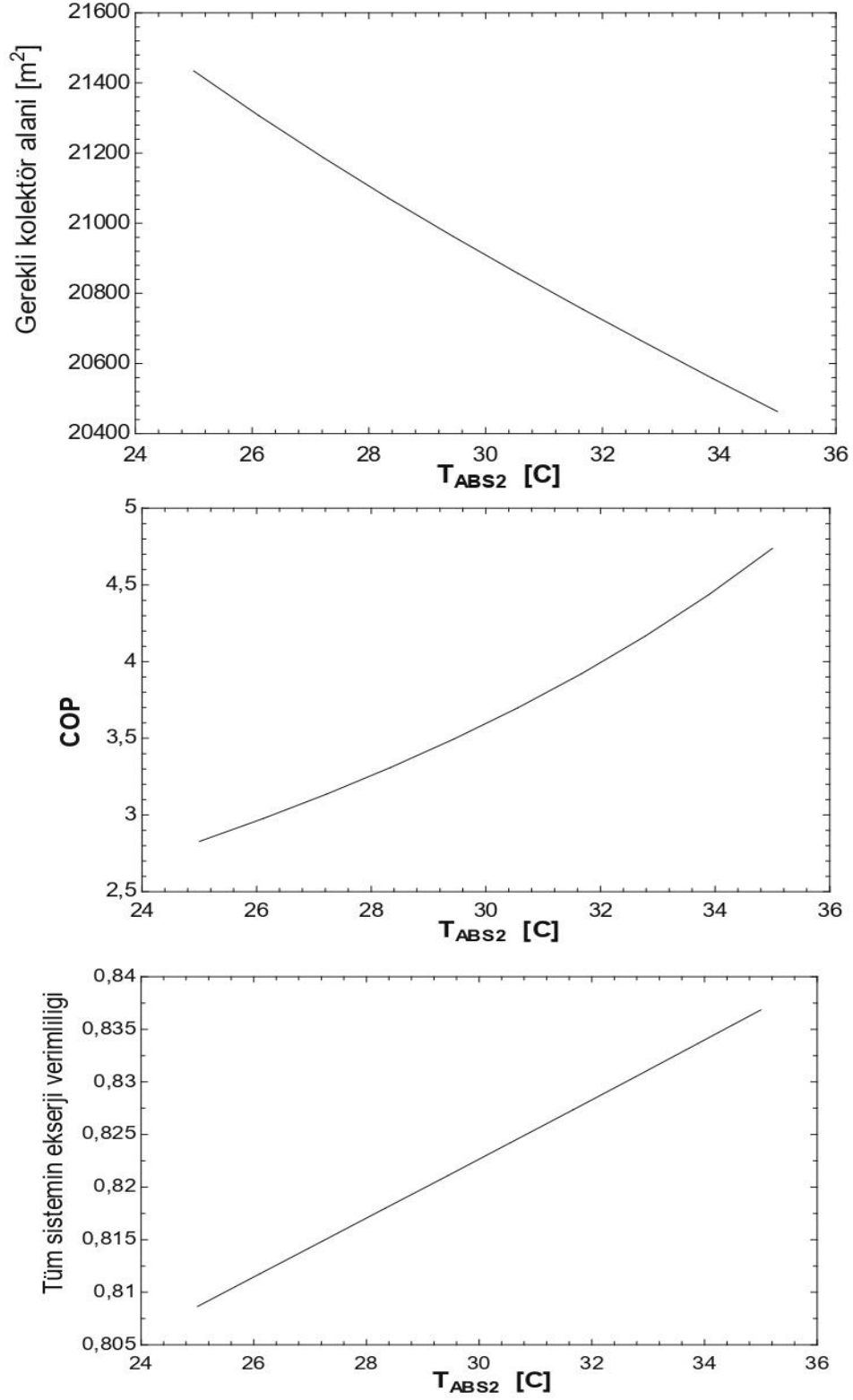
Şekil 38. ABS1 sıcaklığının önerilen sistemin performans parametreleri üzerindeki etkisi.



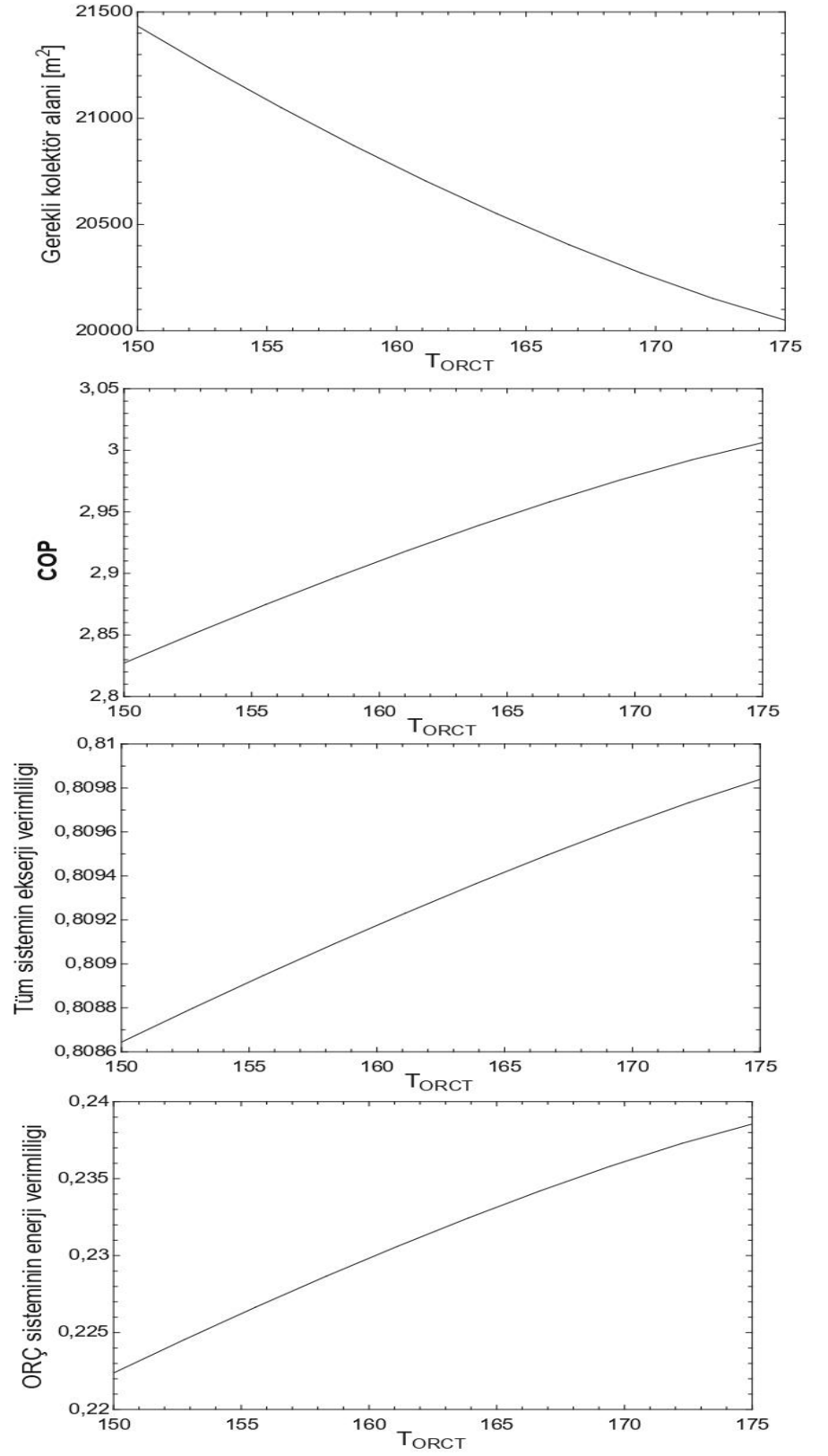
Şekil 39. Con sıcaklığının önerilen sistemin performans parametreleri üzerindeki etkisi.



Şekil 40. EV2 sıcaklığının önerilen sistemin performans parametreleri üzerindeki etkisi.



Şekil 41. ABS2 sıcaklığının önerilen sistemin performans parametreleri üzerindeki etkisi.



Şekil 42. ORCT sıcaklığının önerilen sistemin performans parametreleri üzerindeki etkisi.

### 3.3.5.7 Önerilen Sistemin Güneş Enerjisi Kaynaklı Sürdürülebilirlikle İlişkili Performans Parametrelerine Göre Karşılaştırılması

Önerilen sistem için hesaplanan ve Chong ve diğerlerinin referans çalışmasında (Chong et al.,2022) sunulan güneş enerji kaynaklı sürdürülebilirlikle ilişkili seçilen sistem performans parametreleri Tablo 50-51’de sunulmuştur.

Tablo 50. Önerilen sistemin sürdürülebilirlikle ilişkili seçilen sistem performans parametre sonuçları.

| Yatırımın enerji getirisi indeksi | Karbon ayak izi [kg/MWh] | Su ayak izi [L/MWh] |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------------|
| 4,013                             | 86,27                    | 111,163             |

Tablo 51. Referans çalışmanın (Chong et al.,2022) sürdürülebilirlikle ilişkili güneş enerjisi için sunduğu performans parametre sonuçları.

| Yatırımın enerji getirisi indeksi | Karbon ayak izi [kg/MWh] | Su ayak izi [L/MWh] |
|-----------------------------------|--------------------------|---------------------|
| 1-16,1                            | 101,5                    | 330                 |

Söz konusu karşılaştırma sonuçları önerilen sistemin güneş enerjisi entegrasyonlu sistemler içerisinde sürdürülebilirlik açısından da uygun bir çözüm oluşturduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

### 3.3.5.8 Eksergoekonomik Optimizasyon Sonuçları

Tek amaçlı optimizasyon analizlerinin sonuçları, önerilen sistemin optimal tasarım parametrelerini belirlemeye yönelik çeşitli amaç fonksiyonlarını içeren Tablo 52’de özetlenmiştir. Bu tabloda, sırasıyla  $\eta_{ORC}$ , COP,  $\eta_{ex,overall}$ ’ı maksimize etme ve toplam yatırım maliyeti (TIC) ile geri ödeme süresini (PP) minimize etme amaç fonksiyonlarını değerlendirilmiştir.  $\eta_{ORC}$ ’yi maksimize etmek için, optimal tasarım parametreleri ABS1, ABS2, Con, EV2 ve ORCT sıcaklıkları sırasıyla (140 °C, 25 °C, 40 °C, 10 °C, 20 °C, 150 °C) olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, ORCT ve ORCC arasındaki sıcaklık farkının artması ve ASÇ sisteminin ısı girdisi akımındaki artış nedeniyle ORÇ sistemine giren ısı miktarının azalmasını sağlamıştır. COP’yi



maksimize etmek için, optimal tasarım parametreleri (138,9 °C, 33,07 °C, 50 °C, 19,07 °C, 19,8 °C, 140,5 °C) olarak belirlenmiştir. Bu bulgu, ABS2'den çıkan iş akışkanının SHX2'ye giriş akımındaki entalpi farkının azalması ve ABS2'den çıkan iş akışkanının kütleli debisinin ve ASÇ sistemindeki pompa işinin azalmasıyla açıklanmıştır.  $\eta_{ex,overall}$ 'ı maksimize etmek için, optimal tasarım parametreleri (130,2 °C, 34,75 °C, 49,76 °C, 10,45 °C, 22,53 °C, 149,9 °C) olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, genel ekserji yakıt akımının azalması ve genel ekserji ürün akımının artması ile ilişkilendirilmiştir. TIC'yi minimize etmek için, optimal tasarım parametreleri (130 °C, 32,29 °C, 35,14 °C, 11,2 °C, 24,45 °C, 150 °C) olarak belirlenmiştir. Bu durum, gerekli güneş tarlası kolektör alanının ve ORCC'deki ısı transfer hızının azalmasına yol açmıştır. Benzer şekilde, PP'yi minimize etmek için, optimal tasarım parametreleri (130 °C, 35 °C, 35 °C, 10 °C, 15 °C, 150 °C) olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, TIC'deki azalmaya ve üretim çıktılarındaki artışa bağlı olarak gelişmiştir. Çok amaçlı optimizasyon sürecinde, önerilen sistemin optimal konfigürasyonunu tahmin etmek için birbiriyle rekabet eden farklı amaç fonksiyonu çiftleri seçilmiş ve bu çiftler Tablo 53'te sunulmuştur. Bu tablodaki verilere göre, hem COP'yi hem de  $\eta_{ORC}$ 'yi maksimize etmek için optimal tasarım parametreleri (140 °C, 35 °C, 48,75 °C, 24,89 °C, 15,02 °C, 150 °C) olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde,  $\eta_{ORC}$ 'yi ve  $\eta_{ex,overall}$ 'i eş zamanlı olarak maksimize etmek için en etkili tasarım parametreleri (139,65 °C, 31,63 °C, 36,48 °C, 12,89 °C, 26,25 °C, 149,64 °C) olarak tanımlanmıştır.  $\eta_{ORC}$ 'yi maksimize etmek ve eş zamanlı olarak hem PP'yi hem de TIC'yi minimize etmek amacıyla optimal tasarım parametreleri (130,32 °C, 25,04 °C, 46,04 °C, 21 °C, 30 °C, 140 °C) olarak belirlenmiştir. Ayrıca,  $\eta_{ex,overall}$ 'i ve COP'yi maksimize etmek amacıyla en uygun tasarım parametreleri (130 °C, 35 °C, 41,65 °C, 14,69 °C, 30 °C, 150 °C) olarak belirlenmiştir. COP'yi maksimize etmek ve hem TIC'yi hem de PP'yi minimize etmek amacıyla optimal tasarım parametreleri (130 °C, 34,97 °C, 40,59 °C, 10,79 °C, 15,09 °C, 149,83 °C) olarak tanımlanmıştır. Son olarak, hem  $\eta_{ORC}$ 'yi hem de f (eksergo-ekonomik faktörü)'i maksimize etmek amacıyla en uygun tasarım parametreleri (130,18 °C, 35 °C, 42,98 °C, 24,68 °C, 15,02 °C, 150 °C) olarak belirlenmiştir. İkinci konfigürasyondan alınan ve TRNSYS yıllık simülasyon sonuçları tarafından gösterilen bu sonuncu çok amaçlı eksergoekonomik optimizasyon sonucu tasarım parametrelerini içeren yıllık elektrik ve soğutma yükü üretimi sırasıyla 396,2 GWh ve 59213,4 MWh

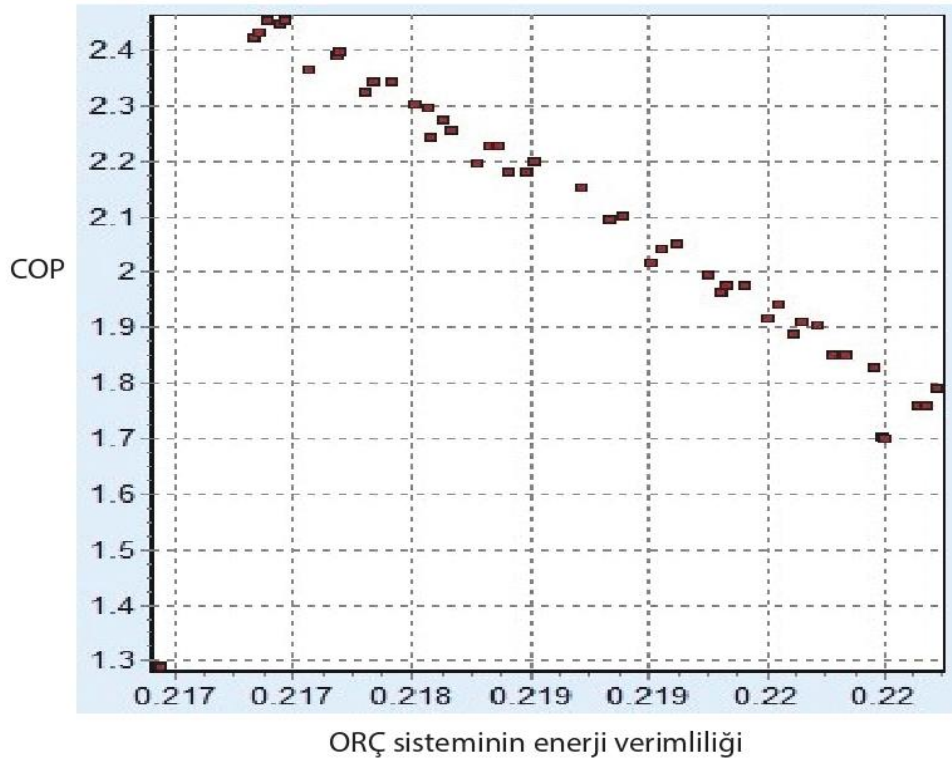
olarak saptanmıştır. Ayrıca, bu süreçten elde edilen optimal Pareto öngörünümleri Şekil 43-45'te gösterilmiştir.

Tablo 52. Önerilen sistemin tek amaçlı eksergoekonomik optimizasyon sonuçları.

| Amaç fonksiyonu                                       | Optimum<br>$T_{ABS1}(^{\circ}\text{C})$ | Optimum<br>$T_{ABS2}(^{\circ}\text{C})$ | Optimum<br>$T_c(^{\circ}\text{C})$ | Optimum<br>$T_{EV2}(^{\circ}\text{C})$ | Optimum<br>$T_{ORCC}(^{\circ}\text{C})$ | Optimum<br>$T_{ORCT}(^{\circ}\text{C})$ |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| ORÇ sisteminin enerji verimliliğinin maksimizasyonu   | 140                                     | 25                                      | 40                                 | 10                                     | 20                                      | 150                                     |
| COP'nin maksimizasyonu                                | 139,9                                   | 33,07                                   | 50                                 | 19,07                                  | 19,8                                    | 140,5                                   |
| Tüm sistemin ekserji verimliliğinin maksimizasyonu    | 130,2                                   | 34,75                                   | 49,76                              | 10,45                                  | 22,53                                   | 149,9                                   |
| Sistemin toplam ilk yatırım maliyetinin minimizasyonu | 130                                     | 32,29                                   | 35,14                              | 11,2                                   | 24,45                                   | 150                                     |
| Sistemin geri ödeme süresinin minimizasyonu           | 130                                     | 35                                      | 35                                 | 10                                     | 15                                      | 150                                     |

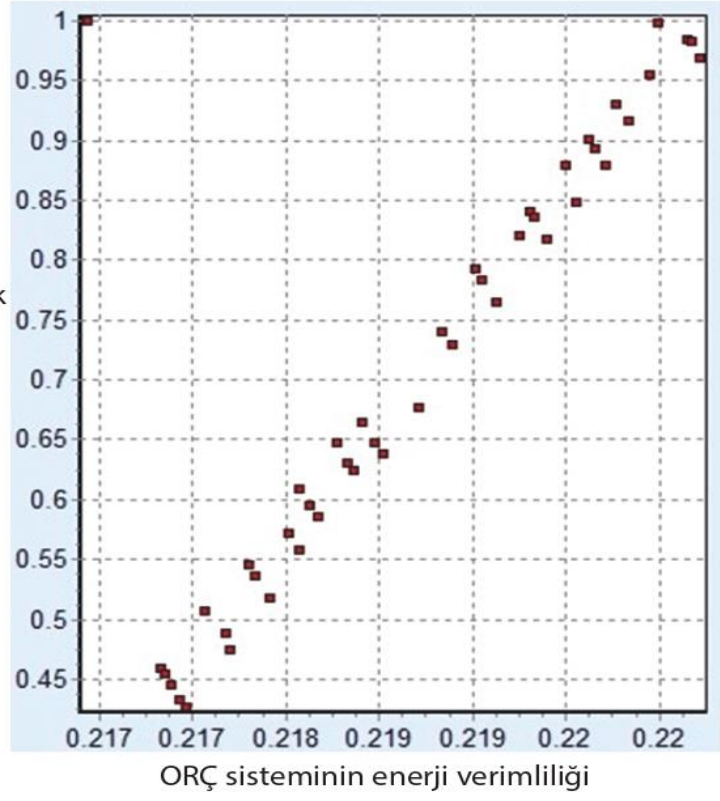
Tablo 53. Önerilen sistemin çok amaçlı eksergoekonomik optimizasyon sonuçları.

| Amaç fonksiyonu                                                                                                                                                                         | Optimum<br>$T_{ABS1}(^{\circ}\text{C})$ | Optimum<br>$T_{ABS2}(^{\circ}\text{C})$ | Optimum<br>$T_c(^{\circ}\text{C})$ | Optimum<br>$T_{EV2}(^{\circ}\text{C})$ | Optimum<br>$T_{ORCC}(^{\circ}\text{C})$ | Optimum<br>$T_{ORCT}(^{\circ}\text{C})$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| ORÇ sisteminin enerji verimliliğinin ve COP değerinin maksimizasyonu                                                                                                                    | 140                                     | 35                                      | 48,75                              | 24,89                                  | 15,02                                   | 150                                     |
| ORÇ sisteminin enerji verimliliğinin ve tüm sistemin ekserji verimliliğinin maksimizasyonu                                                                                              | 139,65                                  | 31,63                                   | 36,48                              | 12,89                                  | 26,25                                   | 149,64                                  |
| ORÇ sisteminin enerji verimliliğinin maksimizasyonu ve tüm sistemin ilk yatırım maliyetinin ve geri ödeme süresinin minimizasyonu                                                       | 130,32                                  | 25,04                                   | 46,04                              | 21                                     | 30                                      | 140                                     |
| COP değerinin ve tüm sistemin ekserji verimliliğinin maksimizasyonu                                                                                                                     | 130                                     | 35                                      | 41,65                              | 14,69                                  | 30                                      | 150                                     |
| COP değerinin maksimizasyonu ve tüm sistemin ilk yatırım maliyetinin ve geri ödeme süresinin minimizasyonu                                                                              | 130                                     | 34,97                                   | 40,59                              | 10,79                                  | 15,09                                   | 149,83                                  |
| ORÇ sisteminin enerji verimliliğinin, COP değerinin ve tüm sistemin ekserji verimliliğinin maksimizasyonu ve tüm sistemin ilk yatırım maliyetinin ve geri ödeme süresinin minimizasyonu | 130,18                                  | 35                                      | 42,98                              | 24,68                                  | 15,02                                   | 150                                     |



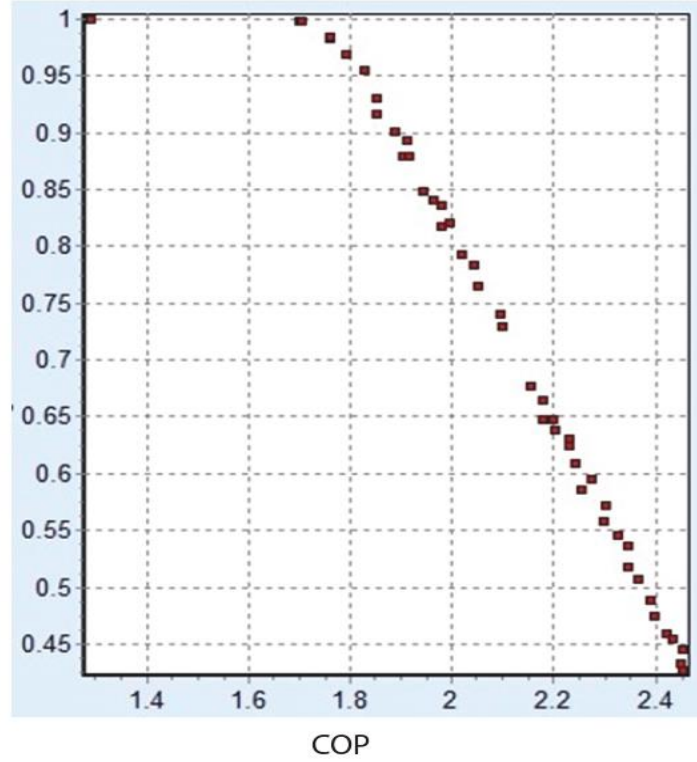
Şekil 43. COP-ORÇ sistemin enerji verimliliği ilişkisini ortaya koyan Pareto öngörünümlü.

Tüm sistemin  
eksergoekonomik  
faktörü



Şekil 44. Tüm sistemin eksergoekonomik faktörü-ORÇ sistemin enerji verimliliği ilişkisini ortaya koyan Pareto öngörünümlü.

Tüm sistemin  
eksergoekonomik  
faktörü



Şekil 45. Tüm sistemin eksergoekonomik faktörü-COP ilişkisini ortaya koyan Pareto öngörünüme.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında, güneş enerjisi destekli Organik Rankine çevrimi (ORÇ) ve absorpsiyon teknolojilerinin entegrasyonu ile çevre dostu ve ekonomik bir yaklaşım benimsenerek üç farklı özgün sistem tasarımı geliştirilmiştir. Bu tasarımların odak noktaları sırasıyla yüksek kapasiteli elektrik üretimi, yüksek kapasiteli ısıtma ve soğutma yükleri ile yüksek kapasiteli elektrik ve soğutma yükleri üretimidir. İlk sistem tasarımı, DGK, AIY ve ORÇ entegrasyonunu içermektedir ve bu tasarım için enerji, ileri ekserji, eksergoekonomik, çevresel ve sürdürülebilirlik analizleri yapılmıştır. Bu sistem tasarımında, termodinamik olarak iyileştirmek amacıyla geleneksel ve ileri ekserji analizi sonuçlarına dayalı olarak literatürde özgün bir önceliklendirme yöntemi sunulmuştur. Bu özgün yöntem aynı zamanda sistem performans parametrelerinin ötesinde, literatüre özgün bir indeks olan ekipman iyileştirme potansiyelini de içermektedir. İkinci sistem tasarımında, DGK, AIY ve ASÇ sistemlerinin entegrasyonu kullanılarak düşük sıcaklık seviyelerindeki atık ısı kaynaklarından (70°C-90°C) yüksek kapasiteli ısıtma ve

soğutma yükleri (4000 kW) üretme amacı güdülmüş ve bu tasarım üzerinde enerji, genişletilmiş ekserji, sürdürülebilirlik ve çevresel analizler gerçekleştirilmiştir. Üçüncü sistem tasarımında, DGK/hibrid PV-T, ORÇ, AIY ve tek kademeli ASÇ sistemlerinin entegrasyonu kullanılarak daha düşük seviyeli atık ısı sıcaklık kaynakları aracılığıyla yüksek kapasiteli soğutma yükü (4000 kW) ve elektrik (1000 kW) üretiminin sağlanması amaçlanmıştır. Bu sistem tasarımı, DGK ve PV-T olmak üzere iki ayrı konfigürasyon için incelenmiş, sonuçlar teknoekonomik açıdan karşılaştırılarak uygun konfigürasyon seçimi yapılmıştır. Seçilen konfigürasyon için farklı eksergoekonomik parametrelere dayalı olarak tek ve çok amaç fonksiyonlu eksergoekonomik optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Bu tezde geliştirilen tüm sistem tasarımları, mevcut benzer ölçekli güç ve/veya soğutma tesislerinin teknoekonomik parametreleriyle karşılaştırılarak, geliştirilen sistemlerin alternatif olma potansiyelleri belirlenmiştir. Bu tez kapsamında elde edilen ana sonuçlar aşağıda listelenmiştir:

İlk sistem tasarımına uygulanan geleneksel ekserji analizi sonuçları toplam ekserji yıkım akımının 5853,89 kW olduğunu göstermiştir. En yüksek ekserji yıkım akımı SHX (%23,711) ve DGK (%21,849) tarafından sağlanırken, en düşük akımlar sırasıyla %0,242 ve %0,849 ile ORCcon ve ORCT'ye ait olmuştur.

İlk sistem tasarımına uygulanan ileri ekserji analizi, baskın kaçınılabilir ekserji yıkım akımları nedeniyle DGK ve P1'deki iyileştirme potansiyelini vurgulamıştır. SHX ve P2, sırasıyla %80,562 ve %98,874 oranlarında dışsal bileşenlerin baskın olduğu daha güçlü tersinmezlikleri sergilemiştir. Gen, V ve ORCcon, dışsal ekserji akımı konusunda önemli katkıda bulunmuşlar ancak birbirlerine zıt yönde davranış göstermişlerdir. Bu nedenle, Gen ve ORCcon'un sıcaklıklarının dikkatli bir şekilde optimize edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

İlk sistem tasarımına uygulanan geleneksel eksergoekonomik analiz, toplam yatırım ve ekserji yıkım akımlarının sırasıyla 250,526 ABD doları/saat ve 231,229 ABD doları/saat olduğunu göstermiştir. Gen, DGK ve SHX, daha güçlü termal ve/veya kimyasal süreçlerden kaynaklanan daha yüksek ekserji yıkım maliyet akımlarına sahip olmuştur. Ancak, yatırım maliyet akımları, yenilenebilir enerji entegrasyonu nedeniyle düzenli bir şekilde dağılmıştır.

- İlk sistem tasarımına uygulanan ileri eksergoekonomik analiz, yukarıdaki sonuçları desteklemiş ve yatırım maliyet akımı için kaçınılmaz içsel kısmın çoğu bileşende ortalama %67,504'ünü oluşturduğunu ortaya koymuştur.

- Önerilen ilk sistem tasarımıyla yıllık elektrik üretimi, İzmir örneği için TRNSYS simülasyon sonuçlarına göre sırasıyla 2601 MWh olarak belirlenmiştir.

- Önerilen ilk sistem tasarımı üzerinde yapılan analizlerin sonuçları eksergo-çevresel açıdan önerilen sistemin klasik güneş enerjisi santrallerine iyi bir alternatif oluşturduğunu kanıtlamıştır.

- Bu tez kapsamında geliştirilen özgün önceliklendirme yönteminin ilk sistem tasarımı üzerinde uygulanmasıyla, P1, P2, ABScon, ABS, Gen ve ORCcon'un genel sistem performansını iyileştirmek için yüksek önceliklere sahip olduğu anlaşılmıştır. Ancak, bu bileşenler içinde Gen ve ORCcon, genel sistem için yüksek öncelik derecesine sahip olmuştur.

- İkinci sistem tasarımına uygulanan enerji analizi sonuçları, AIY'nin ısı etki katsayısının 0,46, soğutma sistemi için COP değerinin 3,10 ve gerekli DGK alanının ise  $19233 \text{ m}^2$  olduğunu göstermiştir. Gen'in ASÇ sistemindeki eliminasyonu yüksek sıcaklıklı LiBr-su çözeltisi ve ASÇ sisteminin entegrasyonu ile elde edilen COP değeri birin üzerine çıkarılabilmektedir.

- İkinci sistem tasarımına uygulanan geleneksel ekserji analizi sonuçları, önerilen sistem için toplamda 14442,59 kW'lık ekserji yıkım akımının bulunduğunu göstermiştir. Toplam ekserji yıkım akımına en yüksek katkılar, sırasıyla bu bileşenlerdeki etkili termal reaksiyonlardan kaynaklanan EV2, P3 ve V2'ye ait olmuş ve oranları sırasıyla %26,72, %13,29 ve %11,29 olarak hesaplanmıştır.

- İkinci sistem tasarımına uygulanan genişletilmiş ekserji analizi sonuçları, önerilen sistem için toplam genişletilmiş ekserji içeriğinin 4222101,09 GJ olduğunu göstermiştir. Kümülatif ekserji tüketimi bileşeni, toplam ekserji içeriğinde en büyük katkı sağlayan unsur olarak yer almıştır. Bu sonuç, önerilen bu sistemle sermaye tüketiminin özellikle kurulum ve elektrik temelli olarak malzeme ve enerji tüketiminden daha düşük olduğunu göstermektedir. Bu durum, önerilen sistemin yüksek kapasiteli soğutma ve ısıtma görevi üretimine dayanarak ekonomik sürdürülebilirliği artırdığına dair önemli kanıtlar sunmaktadır. Genişletilmiş ekserji analizinden diğer elde edilen önemli bir sonuç, genişletilmiş ve geleneksel ekserji verimliliklerinin sırasıyla %43,60 ve %74,10 olmasıdır. Aynı ekserji ürün akımıyla



birlikte daha yüksek ekserji yakıt akımı nedeniyle genişletilmiş ekserji verimliliği geleneksel ekserji verimliliğinden daha düşük seviyede kalmıştır.

- Önerilen ikinci sistem tasarımıyla yıllık soğutma ve ısıtma yükü üretimleri, İzmir örneği için TRNSYS simülasyon sonuçlarına göre sırasıyla 52370 MWh ve 52400 MWh olarak belirlenmiştir.

- Önerilen ikinci sistem tasarımıyla benzer ölçekli soğutma tesislerinin ekonomik karşılaştırma sonuçları, önerilen bu sistemin daha ekonomik bir şekilde yüksek kapasiteli soğutma ve ısıtma yükleri elde etmek için iyi bir alternatif olduğunu göstermiştir.

- Üçüncü sistem tasarımına uygulanan enerji analizi sonuçları, bazı parametrelerdeki önemli iyileştirmeleri ortaya koymaktadır: AIY'nin ısı etki katsayısı 0,46, ORÇ sistemi enerji verimliliği 0,22, soğutma sistemi COP değeri 3,10 ve gereken DGK alanı  $21434 \text{ m}^2$ . Bu iyileştirmeler, geleneksel sistemlerin ötesine geçen, ASÇ sisteminin kaynatıcısını ortadan kaldırmak ve ABS1'den gelen yüksek sıcaklıktaki LiBr-su çözeltisini soğutma sistemine entegre etmek gibi yenilikçi yaklaşımlardan kaynaklanmaktadır. Bu durum artan ısı transfer akımı, daha yüksek ORÇ iş akışkanı kütleli debisi ve daha büyük net türbin gücüne yol açmıştır.

- Üçüncü sistem tasarımına uygulanan ekserji analizi, toluenin optimal çalışma akışkanı olarak tanımlanmasını, önerilen sistemdeki toplam ekserji yıkım akımının 13245,46 kW olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle, DGK'deki güneş enerjisinin yüksek ekserji yakıt akımları ve ORCT'nin düşük ekserji verimli ekipmanların etkilerini dengeleyememesi nedeniyle ORÇ ve DGK alt sistemlerinin ekserji verimliliği olumsuz etkilenmiştir. P3, V2 ve Gen, önemli katkı sağlayan bileşenler olup (sırasıyla %15,93, %13,73 ve %13,50), V3, EV1 ve Con ise minimum etkiye sahip olmuştur (sırasıyla %0,0005, %0,24 ve %0,26 ). Bu farklılık, P3, V2 ve Gen ekipmanlarında artan ısı transfer akımları, entropi farkları ve ilgili bileşenlerdeki entalpi değişikliklerine bağlı olarak yükselmiş ekserji yakıt akımlarından kaynaklanmıştır.

- Üçüncü sistem tasarımının önerilen ilk sistem konfigürasyonu için TRNSYS simülasyon sonuçları, yıllık soğutma yükü ve elektrik üretiminin sırasıyla 53264.8 MWh ve 270.6 GWh olduğunu göstermiştir. Referans bir enerji santrali çalışması ile karşılaştırıldığında, önerilen sistemle yıllık elektrik üretiminde dikkate

değer bir artış elde edilmiş ve bunun temel nedenleri daha büyük güneş kolektör alanı, ABS1'deki artan ısı transfer akımları, artırılmış ORÇ sistemi ısı girdisi ve ORCT'den daha büyük net mekanik güç elde edilmesi olarak düşünülmüştür. Bununla birlikte, referans soğutma tesisi çalışmalarına göre, artan güneş kolektör alanı ve EV2'de artan iş akışkan kütlesi debisi ile birlikte Gen'in ASÇ çevrimindeki azalan LiBr konsantrasyonu nedeniyle giriş akış entalpisinin azalmasıyla ilişkilendirilen yıllık soğutma yükünde %1,35'lik bir artış önerilen sistemde gözlemlenmiştir. İkinci konfigürasyon için TRNSYS yıllık simülasyon sonuçları, 40,06 GWh elektrik üretimini ve 38,48 GWh tüketimini göstermiştir, bu durum ise sistemin ihtiyaç duyduğu elektrik tüketiminin tamamen dengelendiğini ve fazlasının net elektrik üretimi olarak ele alınabileceği göstermektedir.

- Mevcut güç ve soğutma tesisleri genellikle sırasıyla 6-10 milyon ABD doları, 5-9 milyon ABD doları, 6-8 milyon ABD doları ve 5-7 milyon ABD doları arasında değişen başlangıç ve yıllık çalışma maliyetleri ile 10-15 yıl ve 5-10 yıl geri ödeme sürelerini içermektedir. Buna karşın, önerilen üçüncü sistem ekonomik gücünü, 10,81 milyon ABD doları başlangıç yatırımı, 1,41 milyon ABD doları yıllık çalışma maliyetleri ve 4,27 yıllık geri ödeme süresi ile göstermektedir. Bu durum, 1000 kW elektrik ve 4000 kW soğutma yükü üretmeyi hedefleyen bu sistemin, sadece 4000 kW soğutma yükü üreten sistemlere kıyasla benzer bir maliyete sahip olduğunu net bir şekilde ortaya koymaktadır. Önerilen bu sistemin yıllık enerji maliyet kazancı, seviyelendirilmiş soğutma yükü elektrik kapasite maliyetlerini içeren ekonomik ölçütler sırasıyla 5,32 milyon ABD doları, 0,0204 ABD doları/kWh ve 0,0283 ABD doları olarak belirlenmiş, bu da sistemin geçerliliğini doğrulamıştır. İkinci konfigürasyonun ekonomik parametreleri olan 9,91 milyon ABD doları başlangıç yatırımı, 1,29 milyon ABD doları yıllık çalışma maliyetleri, 4,2 yıl geri ödeme süresi, 9,25 milyon ABD doları yıllık enerji maliyet kazancı, 0,014 ABD doları/kWh seviyelendirilmiş soğutma maliyeti ve 0,015 ABD doları/kWh seviyelendirilmiş elektrik üretim maliyeti, referans tesisler ve ilk konfigürasyonu geride bırakmaktadır. Bu durum, güneş enerjili hibrit PV-T sistemlerinin daha yüksek termal verimliliğine bağlanmış ve bu da güneş alanı gereksinimini azaltmıştır. Birim  $m^2$ 'de daha yüksek maliyetlere rağmen PVT sisteminin önemli elektrik tüketimi, bu maliyeti etkili bir şekilde karşılamış ve fazla elektrik enerjisi enerji tasarrufuna katkıda bulunmaktadır.

- Önerilen üçüncü sistemin uygun konfigürasyonunun optimum yapılandırmasını oluşturmak için, eksergoekonomik parametrelere dayalı tek ve çok amaçlı optimizasyon süreci uygulanmıştır. TRNSYS'ten elde edilen yıllık simülasyon sonuçları, daha önce analiz bölümünde belirtilen parametrelerin sırasıyla (130,18 °C, 35 °C, 42,98 °C, 24,68 °C, 15,02 °C, 150 °C) olduğunu göstermiştir ve bu parametrelerle toplam yıllık elektrik ve soğutma üretimi sırasıyla 396,2 GWh ve 59213,4 MWh olarak hesaplanmıştır.

Bu tez kapsamında, elde edilen söz konusu sonuçlar, ORÇ ve absorpsiyon teknolojilerinin DGK ile entegrasyonu yoluyla daha güçlü üretim çıktılarının daha ekonomik ve çevre dostu bir yolla üretilebileceğini kanıtlamaktadır. Bu kapsamda literatürdeki sonraki çalışmalar için absorpsiyon etkisinin sadece soğutma sisteminde kullanımının ötesine geçilerek farklı güçlü alt sistemlerle entegre edilmesi önerilmektedir. Ayrıca enerji sistemleri için yaygın olarak kullanılan ekserji analizlerine bu tez çalışmasında olduğu gibi yöntemsel olarak özgünlükler katmanın literatüre önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abed, A. M., Sh. Majdi, H., Sopian, K., Ali, F. H., Al-Bahrani, M., Al-Amir, Q. R., & Yakoob, A. K.** (2022). Techno-Economic Analysis of dual ejectors solar assisted combined absorption cooling cycle. *Case Studies in Thermal Engineering*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102423>
- Aghaei, J., Amjady, N., & Shayanfar, H. A.** (2011). Multi-objective electricity market clearing considering dynamic security by lexicographic optimization and augmented epsilon constraint method. *Applied Soft Computing Journal*, 11(4), 3846–3858. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2011.02.022>
- Ahmadi, M. H., Sadaghiani, M. S., Pourfayaz, F., Ghazvini, M., Mahian, O., Mehrpooya, M., & Wongwises, S.** (2018). Energy and exergy analyses of a solid oxide fuel cell-gas turbine-organic rankine cycle power plant with liquefied natural gas as heat sink. *Entropy*, 20(7). <https://doi.org/10.3390/e20070484>
- Alsagri, A. S., Alrobaian, A. A., & Almohaimeed, S. A.** (2020). Concentrating solar collectors in absorption and adsorption cooling cycles: An overview. In *Energy Conversion and Management* (Vol. 223). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113420>
- Al-Sulaiman, F. A., Hamdullahpur, F., & Dincer, I.** (2011). Greenhouse gas emission and exergy assessments of an integrated organic Rankine cycle with a biomass combustor for combined cooling, heating and power production. *Applied Thermal Engineering*, 31(4), 439–446. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2010.09.019>
- Amiri, Z., Asgharipour, M. R., Campbell, D. E., & Armin, M.** (2020). Extended exergy analysis (EAA) of two canola farming systems in Khorramabad, Iran. *Agricultural Systems*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102789>

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Alrefaei, M. H., & Andradóttir, S.** (1997, December). Accelerating the convergence of the stochastic ruler method for discrete stochastic optimization. In *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation* (pp. 352-357)
- Andersen A'\*, E. D., & Andersen, K. D.** (1995). Presolving in linear programming. In *Mathematical Programming*, 71
- Andradóttir, S.** (2006). Chapter 20 An Overview of Simulation Optimization via Random Search. In *Handbooks in Operations Research and Management Science* (Vol. 13, Issue C, pp. 617–631). [https://doi.org/10.1016/S0927-0507\(06\)13020-0](https://doi.org/10.1016/S0927-0507(06)13020-0)
- Azizi, S., Shakibi, H., Shokri, A., Chitsaz, A., & Yari, M.** (2023). Multi-aspect analysis and RSM-based optimization of a novel dual-source electricity and cooling cogeneration system. *Applied Energy*, 332. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120487>
- Badescu, V.** (2002). 3D isotropic approximation for solar diffuse irradiance on tilted surfaces. *Renewable Energy*, 26(2), pp. 221–233. doi: 10.1016/S0960-1481(01)00123-9
- Bagherzadeh, S. A., Ruhani, B., Namar, M. M., Alamian, R., & Rostami, S.** (2020). Compression ratio energy and exergy analysis of a developed Brayton-based power cycle employing CAES and ORC. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 139(4), 2781–2790. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-09051-5>
- Balli, O., Caliskan, H.** (2021). On-design and off-design operation performance assessmentsof an aero turboprop engine used on unmanned aerial vehicles (UAVs) in terms of aviation, thermodynamic, environmental and sustainability perspectives. *Energy Convers. Manag.* 243(0–1). <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114403>.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bandyopadhyay, S., Saha, S., Maulik, U., & Deb, K.** (2008). A simulated annealing-based multiobjective optimization algorithm: AMOSA. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 12(3), 269–283. <https://doi.org/10.1109/TEVC.2007.900837>
- Belli M., Sciubba E.** (2007). Extended exergy accounting as a general method for assessing the primary resource consumption of social and industrial systems. *International Journal of Exergy*, 4(4), 421-440
- Bellos, E., Pavlovic, S., Stefanovic, V., Tzivanidis, C., & Nakomcic-Smaradgakis, B. B.** (2019). Parametric analysis and yearly performance of a trigeneration system driven by solar-dish collectors. *International Journal of Energy Research*. <https://doi.org/10.1002/er.4380>
- Bertsimas, D.** (2019). From the Editor. *INFORMS Journal on Optimization*, 1(1), 1–1. <https://doi.org/10.1287/ijoo.2019.0011>
- Bertsimas, D., & Georghiou, A.** (2018). Binary decision rules for multistage adaptive mixed-integer optimization. *Mathematical Programming*, 167(2), 395–433. <https://doi.org/10.1007/s10107-017-1135-6>
- Bet Sarkis, R., & Zare, V.** (2018). Proposal and analysis of two novel integrated configurations for hybrid solar-biomass power generation systems: Thermodynamic and economic evaluation. *Energy Conversion and Management*, 160, 411–425. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.01.061>
- Bowling Green State University - Centrex Central Chiller Plant – HAWA.** (2016). Erişim yeri: Oct. 12, 2023. [Online]. Available: <file:///F:/Solar+ABSHeatCool%20Research%20Article/07.10.2023/BOWLING%20GREEN%20STATE%20UNIVERSITY%20-%20CENTREX%20CENTRAL%20CHILLER%20PLANT%20-%20HAWA.html>

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Burke, J. V., & Ferris B', M. C.** (1995). A Gauss-Newton method for convex composite optimization 1. In *Mathematical Programming*, 71
- Byrd, R. H., Hansen, S. L., Nocedal, J., & Singer, Y.** (2016). A stochastic quasi-Newton method for large-scale optimization. *SIAM Journal on Optimization*, 26(2), 1008–1031. <https://doi.org/10.1137/140954362>
- Cai, P., Wang, T., & Wang, Q.** (2016). Formulation Optimization of Friction Material with Golden Section Approach. *Tribology Transactions*, 59(1), 28–32. <https://doi.org/10.1080/10402004.2015.1055528>
- Caliskan, H., Açikkalp, E., Rostamnejad Takleh, H., & Zare, V.** (2023). Advanced, extended and combined extended-advanced exergy analyses of a novel geothermal powered combined cooling, heating and power (CCHP) system. *Renewable Energy*, 206, 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.02.032>
- César, J. C., Ortiz, J. C., Ochoa, G. V., Restrepo, R. R., & Nuñez Alvarez, J. R.** (2021). A new computational tool for the development of advanced exergy analysis and lca on single effect libr–h<sub>2</sub>o solar absorption refrigeration system. *Lubricants*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/lubricants9080076>
- Chaiyat, N.** (2014). Upgrading of low temperature heat with absorption heat transformer for generating electricity by organic rankine cycle. *Glob. Adv. Res. J. Eng., Technol. Innov.*, 3 (9), 235–247
- Chang, H., Wan, Z., Zheng, Y., Chen, X., Shu, S., Tu, Z., & Chan, S. H.** (2017). Energy analysis of a hybrid PEMFC–solar energy residential micro-CCHP system combined with an organic Rankine cycle and vapor compression cycle. *Energy Conversion and Management*, 142, 374–384. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.03.057>

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Cheng, R., Jin, Y., Olhofer, M., & Sendhoff, B.** (2016). A Reference Vector Guided Evolutionary Algorithm for Many-Objective Optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 20(5), 773–791. <https://doi.org/10.1109/TEVC.2016.2519378>
- Chilled Water Plant Assessment & Criteria Design Cleveland Airport System.** (2016).Erişim:[https://www.clevelandairport.com/sites/default/files/11\\_20\\_2018\\_osborn\\_report.pdf](https://www.clevelandairport.com/sites/default/files/11_20_2018_osborn_report.pdf).
- Chong, C. T., Fan, Y. Van, Lee, C. T., & Klemeš, J. J.** (2022). Post COVID-19 ENERGY sustainability and carbon emissions neutrality. *Energy*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122801>
- Aguirre- Ruiz D., and Ch DV.** (2023). ICAS 2023 Modeling a Binary Organic Rankine Cycle Operated With Solar Collectors: Case Study-Ecuador.Erişim yeri: [www.e-afr.org](http://www.e-afr.org)
- Dai, J., Fath, B., & Chen, B.** (2012). Constructing a network of the social-economic consumption system of China using extended exergy analysis. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Issue 7, pp. 4796–4808). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.027>
- Davis, M., Ahiduzzaman, M., & Kumar, A.** (2018). How will Canada's greenhouse gas emissions change by 2050? A disaggregated analysis of past and future greenhouse gas emissions using bottom-up energy modelling and Sankey diagrams. *Applied Energy*, 220, 754–786. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.064>
- Ebrahimi, M., & Moradpoor, I.** (2016). Combined solid oxide fuel cell, micro-gas turbine and organic Rankine cycle for power generation (SOFC-MGT-ORC). *Energy Conversion and Management*, 116, 120–133. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.080>



### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Elhossini, A., Areibi, S., & Dony, R. (n.d.).** *Strength Pareto Particle Swarm Optimization and Hybrid EA-PSO for Multi-Objective Optimization*
- Elnagar, E., Zeoli, A., Rahif, R., Attia, S., & Lemort, V. (2023).** A qualitative assessment of integrated active cooling systems: A review with a focus on system flexibility and climate resilience. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 175). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113179>
- Emadi, M. A., Chitgar, N., Oyewunmi, O. A., & Markides, C. N. (2020).** Working-fluid selection and thermoeconomic optimisation of a combined cycle cogeneration dual-loop organic Rankine cycle (ORC) system for solid oxide fuel cell (SOFC) waste-heat recovery. *Applied Energy*, 261. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114384>
- Erdiwansyah, Mahidin, Husin, H., Nasaruddin, Zaki, M., & Muhibbuddin. (2021).** A critical review of the integration of renewable energy sources with various technologies. In *Protection and Control of Modern Power Systems* (Vol. 6, Issue 1). Springer. <https://doi.org/10.1186/s41601-021-00181-3>
- Eveloy, V., Karunkeyoon, W., Rodgers, P., & Al Alili, A. (2016).** Energy, exergy and economic analysis of an integrated solid oxide fuel cell – gas turbine – organic Rankine power generation system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(31), 13843–13858. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.01.146>
- Fu, H. C., & Liu, P. (2019).** A multi-objective optimization model based on non-dominated sorting genetic algorithm. *International Journal of Simulation Modelling*, 18(3), 510–520. [https://doi.org/10.2507/IJSIMM18\(3\)CO12](https://doi.org/10.2507/IJSIMM18(3)CO12)

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Furtuna, R., Curteanu, S., & Leon, F.** (2011). An elitist non-dominated sorting genetic algorithm enhanced with a neural network applied to the multi-objective optimization of a polysiloxane synthesis process. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24(5), 772–785. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2011.02.004>
- Gaber SM., El-Sharkawi ME., El-deen MN.** (2010). Traditional genetic algorithm and random-weighted genetic algorithm with GIS to plan radio network. *URISA J*, 22 (1),33-39.
- Gamboa, F., Janon, A., Klein, T., & Lagnoux, A.** (2014). Sensitivity analysis for multidimensional and functional outputs. *Electronic Journal of Statistics*, 8(1), 575–603. <https://doi.org/10.1214/14-EJS895>
- GEPA.** (2022). Erişim adresi: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>
- Gill, P. E., & Murray, W. (n.d.).** *Quasi-Newton Methods for Unconstrained Optimization*. <http://imamat.oxfordjournals.org/>
- Gupta, K., Kumar, M., & Editors, G. (n.d.).** *Springer Series in Advanced Manufacturing Optimization of Manufacturing Processes*. <http://www.springer.com/series/7113>
- Dincer, I.** (2020). Covid-19 coronavirus: Closing carbon age, but opening hydrogen age. In *International Journal of Energy Research* (Vol. 44, Issue 8, pp. 6093–6097). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/er.5569>
- Haghighat Mamaghani, A., Najafi, B., Shirazi, A., & Rinaldi, F.** (2015). 4E analysis and multi-objective optimization of an integrated MCFC (molten carbonate fuel cell) and ORC (organic Rankine cycle) system. *Energy*, 82, 650–663. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.074>
- Hao, P., Li, Y., Lin, Z., & Dubois, E.** (2011). A geometric method for optimal design of color filter arrays. *IEEE Transactions on Image Processing*, 20(3), 709–722. <https://doi.org/10.1109/TIP.2010.2077642>

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hara Chakravarty, K., Sadi, M., Chakravarty, H., Sulaiman Alsagri, A., James Howard, T., & Arabkoohsar, A.** (2022). A review on integration of renewable energy processes in vapor absorption chiller for sustainable cooling. In *Sustainable Energy Technologies and Assessments* (Vol. 50). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101822>
- Hashemian, N., & Noorpoor, A.** (2019). Assessment and multi-criteria optimization of a solar and biomass-based multi-generation system: Thermodynamic, exergoeconomic and exergoenvironmental aspects. *Energy Conversion and Management*, 195, 788–797. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.05.039>
- Hay, J. E.** (1979). Calculation of monthly mean solar radiation for horizontal and inclined surfaces. *Solar Energy*, 23(4), pp. 301–307. doi: 10.1016/0038-092X(79)90123-3
- He, Q., Liu, H., Hao, Y., Liu, Y., & Liu, W.** (2018). Thermodynamic analysis of a novel supercritical compressed carbon dioxide energy storage system through advanced exergy analysis. *Renewable Energy*, 127, 835–849. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.05.005>
- Hinker, P. (n.d.).** *Geometric Optimization*
- Fu, H. C., & Liu, P.** (2019). A multi-objective optimization model based on non-dominated sorting genetic algorithm. *International Journal of Simulation Modelling*, 18(3), 510–520. [https://doi.org/10.2507/IJSIMM18\(3\)CO12](https://doi.org/10.2507/IJSIMM18(3)CO12)
- Furtuna, R., Curteanu, S., & Leon, F.** (2011). An elitist non-dominated sorting genetic algorithm enhanced with a neural network applied to the multi-objective optimization of a polysiloxane synthesis process. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24(5), 772–785. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2011.02.004>

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gaber SM., El-Sharkawi ME., El-deen MN.** (2010). Traditional genetic algorithm and random-weighted genetic algorithm with GIS to plan radio network. *URISA J*, 22 (1),33-39.
- Gamboa, F., Janon, A., Klein, T., & Lagnoux, A.** (2014). Sensitivity analysis for multidimensional and functional outputs. *Electronic Journal of Statistics*, 8(1), 575–603. <https://doi.org/10.1214/14-EJS895>
- GEPA.** (2022). Erişim adresi: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>
- Gill, P. E., & Murray, W. (n.d.).** *Quasi-Newton Methods for Unconstrained Optimization*. <http://imamat.oxfordjournals.org/>
- Gupta, K., Kumar, M., & Editors, G. (n.d.).** *Springer Series in Advanced Manufacturing Optimization of Manufacturing Processes*. <http://www.springer.com/series/7113>
- Fu, H. C., & Liu, P.** (2019). A multi-objective optimization model based on non-dominated sorting genetic algorithm. *International Journal of Simulation Modelling*, 18(3), 510–520. [https://doi.org/10.2507/IJSIMM18\(3\)CO12](https://doi.org/10.2507/IJSIMM18(3)CO12)
- Furtuna, R., Curteanu, S., & Leon, F.** (2011). An elitist non-dominated sorting genetic algorithm enhanced with a neural network applied to the multi-objective optimization of a polysiloxane synthesis process. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24(5), 772–785. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2011.02.004>
- Gaber SM., El-Sharkawi ME., El-deen MN.** (2010). Traditional genetic algorithm and random-weighted genetic algorithm with GIS to plan radio network. *URISA J*, 22 (1),33-39.
- Gamboa, F., Janon, A., Klein, T., & Lagnoux, A.** (2014). Sensitivity analysis for multidimensional and functional outputs. *Electronic Journal of Statistics*, 8(1), 575–603. <https://doi.org/10.1214/14-EJS895>

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- GEPA.** (2022). Erişim adresi: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>
- Gill, P. E., & Murray, W. (n.d.).** *Quasi-Newton Methods for Unconstrained Optimization.* <http://imamat.oxfordjournals.org/>
- Gupta, K., Kumar, M., & Editors, G. (n.d.).** *Springer Series in Advanced Manufacturing Optimization of Manufacturing Processes.* <http://www.springer.com/series/7113>
- Horuz, I., & Kurt, B. (2010).** Absorption heat transformers and an industrial application. *Renewable Energy*, 35(10), 2175–2181. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.02.025>
- Hou, X., Zhang, H., Yu, F., Liu, H., Yang, F., Xu, Y., Tian, Y., & Li, G. (2017).** Free piston expander-linear generator used for organic Rankine cycle waste heat recovery system. *Applied Energy*, 208, 1297–1307. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.024>
- Huang, W., & Sun, J. (2009).** A NGSA - II based parameter calibration algorithm for traffic microsimulation model. *2009 International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, ICMTMA 2009*, 3, 436–439. <https://doi.org/10.1109/ICMTMA.2009.437>
- Hwang P., Ferreria Y. (2015).** Guideline for life cycle climate performance.
- Ijaz, S., Hashmi, F. A., Asghar, S., & Alam, M. (2018).** Vector Based Genetic Algorithm to optimize predictive analysis in network security. *Applied Intelligence*, 48(5), 1086–1096. <https://doi.org/10.1007/s10489-017-1026-9>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers, & IEEE Computational Intelligence Society. (n.d.). (2020).** *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC) : 2020 conference proceedings*

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Integrated solar heating and cooling unit based on a novel zeolite chiller and heat pump.** (2020). Erişim: <https://cordis.europa.eu/project/id/760210>
- Iooss B., Lemaître PA.** (2015). A review on global sensitivity analysis methods. *Oper Res Comput Sci Interfaces Ser.*, 59( 30), 101-122
- Kannan BK., Kramer SN.** (1994). An augmented lagrange multiplier based method for mixed integer discrete continuous optimization and its applications to mechanical design. *Proc ASME Des Eng Tech Conf.* 103-112
- Ji J.** (2018). Integration of Hybrid Energy Storage and Organic Rankine Cycle
- Jie Ling, J. L., Go, E. S., Park, Y. K., & Lee, S. H.** (2022). Recent advances of hybrid solar - Biomass thermo-chemical conversion systems. *Chemosphere*, 290. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133245>
- Karellas, S., & Braimakis, K.** (2016). Energy-exergy analysis and economic investigation of a cogeneration and trigeneration ORC-VCC hybrid system utilizing biomass fuel and solar power. *Energy Conversion and Management*, 107, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.080>
- Kelly, M. P. S., & Und Tobago, T. (n.d.).** Energy Systems Improvement based on Endogenous and Exogenous Exergy Destruction
- Kelly, S., Tsatsaronis, G., & Morosuk, T.** (2009). Advanced exergetic analysis: Approaches for splitting the exergy destruction into endogenous and exogenous parts. *Energy*, 34(3), 384–391. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.12.007>
- Holzmann, T., & Smith, J. C.** (2018). Solving discrete multi-objective optimization problems using modified augmented weighted Tchebychev scalarizations. *European Journal of Operational Research*, 271(2), 436–449. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.05.036>

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Horn, J., Nafpliotis, N., Goldberg PREPRINT, D. E., & Goldberg, D. E.** (1994). A Niche Pareto Genetic Algorithm for Multiobjective Optimization. In *IEEE World Congress on Computational Intelligence* (Vol. 1). IEEE Service Center
- Keshtegar, B., Gholampour, A., Ozbakkaloglu, T., Zhu, S. P., & Trung, N. T.** (2020). Reliability analysis of FRP-confined concrete at ultimate using conjugate search direction method. *Polymers*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/polym12030707>
- Khalid, F., Dincer, I., & Rosen, M. A.** (2015). Energy and exergy analyses of a solar-biomass integrated cycle for multigeneration. *Solar Energy*, 112, 290–299. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2014.11.027>
- Klucher, T. M.** (1979). Evaluation of models to predict insolation on tilted surfaces. *Solar Energy*, 23, pp. 111–114
- Koupaei, J. A., Hosseini, S. M. M., & Ghaini, F. M. M.** (2016). A new optimization algorithm based on chaotic maps and golden section search method. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 50, 201–214. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2016.01.034>
- Kumar, M., & Guria, C.** (2017). The elitist non-dominated sorting genetic algorithm with inheritance (i-NSGA-II) and its jumping gene adaptations for multi-objective optimization. *Information Sciences*, 382–383, 15–37. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2016.12.003>
- Fu, H. C., & Liu, P.** (2019). A multi-objective optimization model based on non-dominated sorting genetic algorithm. *International Journal of Simulation Modelling*, 18(3), 510–520. [https://doi.org/10.2507/IJSIMM18\(3\)CO12](https://doi.org/10.2507/IJSIMM18(3)CO12)

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Furtuna, R., Curteanu, S., & Leon, F.** (2011). An elitist non-dominated sorting genetic algorithm enhanced with a neural network applied to the multi-objective optimization of a polysiloxane synthesis process. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 24(5), 772–785. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2011.02.004>
- Gaber SM., El-Sharkawi ME., El-deen MN.** (2010). Traditional genetic algorithm and random-weighted genetic algorithm with GIS to plan radio network. *URISA J*, 22 (1),33-39.
- Gamboa, F., Janon, A., Klein, T., & Lagnoux, A.** (2014). Sensitivity analysis for multidimensional and functional outputs. *Electronic Journal of Statistics*, 8(1), 575–603. <https://doi.org/10.1214/14-EJS895>
- GEPA.** (2022). Erişim adresi: <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>
- Gill, P. E., & Murray, W. (n.d.).** *Quasi-Newton Methods for Unconstrained Optimization*. <http://imamat.oxfordjournals.org/>
- Gupta, K., Kumar, M., & Editors, G. (n.d.).** *Springer Series in Advanced Manufacturing Optimization of Manufacturing Processes*. <http://www.springer.com/series/7113>
- Lecompte, V., Miconi, D., & Rousseau, C.** (2018). Challenges related to migration and child attachment: A pilot study with South Asian immigrant mother–child dyads. *Attachment and Human Development*, 20(2), 208–222. <https://doi.org/10.1080/14616734.2017.1398765>
- Lee, J. D., Sun, Y., & Saunders, M. A. (n.d.).** *Proximal Newton-type methods for convex optimization*
- Li, H., & Zhang, Q.** (2009). Multiobjective optimization problems with complicated pareto sets, MOEA/ D and NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 13(2), 284–302. <https://doi.org/10.1109/TEVC.2008.925798>



## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Li, H., Zhou, S., He, C., Deng, L., Li, L., Li, S., & Zhang, G.** (2021). A Feasible and Novel Multi-Generation System Taking Advantage of Two-Stage Compressor for Luxury Hotels. *Journal of Thermal Science*, 30(3), 817–827. <https://doi.org/10.1007/s11630-020-1328-9>
- Kumar, P., & Singh, O.** (2019). Thermoeconomic analysis of SOFC-GT-VARS-ORC combined power and cooling system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(50), 27575–27586. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.08.198>
- Lam, J. C., & Li, D. H. W.** (1996). *Correlation between Global Solar Radiation and its Direct and Diffuse Components* (Vol. 31, Issue 6)
- Lasdon, L. S., Waren, A. D., & Jain, A.** (n.d.). *Design and Testing of a Generalized Reduced Gradient Code for Nonlinear Programming*
- Liang, Y., Shu, G., Tian, H., Wei, H., Liang, X., Liu, L., & Wang, X.** (2014). Theoretical analysis of a novel electricity-cooling cogeneration system (ECCS) based on cascade use of waste heat of marine engine. *Energy Conversion and Management*, 85, 888–894. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.12.070>
- Liang, Y., & Wang, L.** (2020). Applying genetic algorithm and ant colony optimization algorithm into marine investigation path planning model. *Soft Computing*, 24(11), 8199–8210. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04414-4>
- Liao, G., E, J., Zhang, F., Chen, J., & Leng, E.** (2020). Advanced exergy analysis for Organic Rankine Cycle-based layout to recover waste heat of flue gas. *Applied Energy*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114891>
- Liu, G., Qin, Y., Wang, J., Liu, C., Yin, Y., Zhao, J., Yin, Y., Zhang, J., & Nenyi Otoo, O.** (2020). Thermodynamic modeling and analysis of a novel PEMFC-ORC combined power system. *Energy Conversion and Management*, 217. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112998>

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Liu, Z., Xie, N., & Yang, S.** (2020). Thermodynamic and parametric analysis of a coupled LiBr/H<sub>2</sub>O absorption chiller/Kalina cycle for cascade utilization of low-grade waste heat. *Energy Conversion and Management*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112370>
- Mafarja, M. M., & Mirjalili, S.** (2017). Hybrid Whale Optimization Algorithm with simulated annealing for feature selection. *Neurocomputing*, 260, 302–312. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.04.053>
- Marinakis, Y., & Marinaki, M.** (2010). A hybrid genetic - Particle Swarm Optimization Algorithm for the vehicle routing problem. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1446–1455. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.06.085>
- Mehta, V. K., & Dasgupta, B.** (2012). A constrained optimization algorithm based on the simplex search method. *Engineering Optimization*, 44(5), 537–550. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2011.598520>
- Meteonorm.**(2022). Erişim adresi: <https://meteonorm.com/>
- Mohammadi, A., Kasaeian, A., Pourfayaz, F., & Ahmadi, M. H.** (2017). Thermodynamic analysis of a combined gas turbine, ORC cycle and absorption refrigeration for a CCHP system. *Applied Thermal Engineering*, 111, 397–406. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.09.098>
- Mohan, G., Dahal, S., Kumar, U., Martin, A., & Kayal, H.** (2014). Development of natural gas fired combined cycle plant for tri-generation of power, cooling and clean water using waste heat recovery: Techno-economic analysis. *Energies*, 7(10), 6358–6381. <https://doi.org/10.3390/en7106358>
- Moradi, R., Marcantonio, V., Cioccolanti, L., & Bocci, E.** (2020). Integrating biomass gasification with a steam-injected micro gas turbine and an Organic Rankine Cycle unit for combined heat and power production. *Energy Conversion and Management*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112464>

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Morosuk, T., & Tsatsaronis, G.** (2008). A new approach to the exergy analysis of absorption refrigeration machines. *Energy*, 33(6), 890–907. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.09.012>
- Mousavi, S. A., & Mehrpooya, M.** (2020). A comprehensive exergy-based evaluation on cascade absorption-compression refrigeration system for low temperature applications - exergy, exergoeconomic, and exergoenvironmental assessments. *Journal of Cleaner Production*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119005>
- Muñoz, E., & Stolpe, M.** (2011). Generalized Benders' Decomposition for topology optimization problems. *Journal of Global Optimization*, 51(1), 149–183. <https://doi.org/10.1007/s10898-010-9627-4>
- Musharavati, F., Khanmohammadi, S., & Tariq, R.** (2021). Comparative exergy, multi-objective optimization, and extended environmental assessment of geothermal combined power and refrigeration systems. *Process Safety and Environmental Protection*, 156, 438–456. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.10.018>
- Narushima, Y., & Yabe, H.** (2012). Conjugate gradient methods based on secant conditions that generate descent search directions for unconstrained optimization. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 236(17), 4303–4317. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2012.01.036>
- Navongxay, B., & Chaiyat, N.** (2019). Energy and exergy costings of organic Rankine cycle integrated with absorption system. *Applied Thermal Engineering*, 152, 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.02.018>
- Nikbakhti, R., Wang, X., Hussein, A. K., & Iranmanesh, A.** (2020). Absorption cooling systems – Review of various techniques for energy performance enhancement. In *Alexandria Engineering Journal* (Vol. 59, Issue 2, pp. 707–738). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.01.036>

# KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sadaghiani S., Ahmadi M., Mehrpooya MH., Pourfayaz MF., Feidt M.** (2018). Process development and thermodynamic analysis of a novel power generation plant driven by geothermal energy with liquefied natural gas as its heat sink. *Applied Thermal Engineering*, 133, 645–658. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.01.077>
- Salehi, A., Mousavi, S. M., Fasihfar, A., & Ravanbakhsh, M.** (2019). Energy, exergy, and environmental (3E) assessments of an integrated molten carbonate fuel cell (MCFC), Stirling engine and organic Rankine cycle (ORC) cogeneration system fed by a biomass-fueled gasifier. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(59), 31488–31505. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.038>
- Salim, M. S., & Kim, M. H.** (2019). Multi-objective thermo-economic optimization of a combined organic Rankine cycle and vapour compression refrigeration cycle. *Energy Conversion and Management*, 199. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112054>
- Saltelli, A., Aleksankina, K., Becker, W., Fennell, P., Ferretti, F., Holst, N., Li, S., & Wu, Q.** (2019). Why so many published sensitivity analyses are false: A systematic review of sensitivity analysis practices. *Environmental Modelling and Software*, 114, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.01.012>
- Saltelli, A., Sobol, IYM.** (1995). Sensitivity analysis for nonlinear mathematical models: numerical experience. *Matematicheskoe Modelirovanie*, 7 (11), 16-28
- Schüppler, S., Fleuchaus, P., Duchesne, A., & Blum, P.** (2022). Cooling supply costs of a university campus. *Energy*, 249. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123554>
- Sciubba, E.** (2001). Beyond thermoeconomics? The concept of Extended Exergy Accounting and its application to the analysis and design of thermal systems. In *Exergy Int. J* (Vol. 1, Issue 2). [www.exergyonline.com](http://www.exergyonline.com)

# KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Shakibi, H., Nedaei, N., Farajollahi, A. H., & Chitsaz, A. (2023).** Exergoeconomic appraisal, sensitivity analysis, and multi-objective optimization of a solar-driven generation plant for yielding electricity and cooling load. *Process Safety and Environmental Protection*, 170, 89–111. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.11.067>
- Sharma, R., & Glemmestad, B. (2013).** On generalized reduced gradient method with multi-start and self-optimizing control structure for gas lift allocation optimization. *Journal of Process Control*, 23(8), 1129–1140. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2013.07.001>
- Sheng-jing, M., Hong-ye, S., & Jian Yue-xuan, C. W. (n.d.).** An New Evolutionary Multi-objective Optimization algorithm
- Singh, H. K., Isaacs, A., Ray, T., & Smith, W. (n.d.).** A Study on the Performance of Substitute Distance Based Approaches for Evolutionary Many Objective Optimization
- Smith, R. (2005).** Chemical Process Design and Integration. Wiley
- Tan, Z., Feng, X., Yang, M., & Wang, Y. (2022).** Energy and economic performance comparison of heat pump and power cycle in low grade waste heat recovery. *Energy*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125149>
- Tian, M., Yu, Z., Zhao, H., & Yin, J. (2018).** Thermodynamic analysis of an integrated solid oxide fuel cell, Organic Rankine Cycle and absorption chiller trigeneration system with CO<sub>2</sub> capture. *Energy Conversion and Management*, 171, 350–360. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.108>

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tiktas, A., Gunerhan, H., & Hepbasli, A.** (2022). Single and multigeneration Rankine cycles with aspects of thermodynamical modeling, energy and exergy analyses and optimization: A key review along with novel system description figures. In *Energy Conversion and Management: X* (Vol. 14). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100199>
- Tiktaş, A., Gunerhan, H., Hepbasli, A., & Açıkkalp, E.** (2023). Exergy-based techno-economic and environmental assessments of a proposed integrated solar powered electricity generation system along with novel prioritization method and performance indices. *Process Safety and Environmental Protection*, 178, 396–413. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.08.048>
- Madison, WI, U. of W. S. E. L.** (2016). TRNSYS, A transient simulation program
- Van Fan, Y., Klemeš, J. J., & Wan Alwi, S. R.** (2021). The environmental footprint of renewable energy transition with increasing energy demand: Eco-cost. *Chemical Engineering Transactions*, 86, 199–204. <https://doi.org/10.3303/CET2186034>
- Walmsley, T. G., Walmsley, M. R. W., Varbanov, P. S., & Klemeš, J. J.** (2018). Energy Ratio analysis and accounting for renewable and non-renewable electricity generation: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 98, pp. 328–345). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.09.034>
- Wang, J., Han, Z., Liu, Y., Zhang, X., & Cui, Z.** (2021). Thermodynamic analysis of a combined cooling, heating, and power system integrated with full-spectrum hybrid solar energy device. *Energy Conversion and Management*, 228. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113596>

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Xu, A., Xu, M., Xie, N., Liang, J., Zeng, K., Kou, G., Liu, Z., & Yang, S.** (2021). Performance analysis of a cascade lithium bromide absorption refrigeration/dehumidification process driven by low-grade waste heat for hot summer and cold winter climate area in China. *Energy Conversion and Management*, 228. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113664>
- Xue, X. D., Zhang, T., Zhang, X. L., Ma, L. R., He, Y. L., Li, M. J., & Mei, S. W.** (2021). Performance evaluation and exergy analysis of a novel combined cooling, heating and power (CCHP) system based on liquid air energy storage. *Energy*, 222. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119975>
- Yağlı, H., Koç, Y., & Kalay, H.** (2021). Optimisation and exergy analysis of an organic Rankine cycle (ORC) used as a bottoming cycle in a cogeneration system producing steam and power. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100985>
- Yang, J., & Chen, B.** (2014). Extended exergy-based sustainability accounting of a household biogas project in rural China. *Energy Policy*, 68, 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.017>
- Yang, S., Deng, C., & Liu, Z.** (2019). Optimal design and analysis of a cascade LiBr/H<sub>2</sub>O absorption refrigeration/transcritical CO<sub>2</sub> process for low-grade waste heat recovery. *Energy Conversion and Management*, 192, 232–242. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.04.045>
- Yang, Y., Wang, L., Dong, C., Xu, G., Morosuk, T., & Tsatsaronis, G.** (2013). Comprehensive exergy-based evaluation and parametric study of a coal-fired ultra-supercritical power plant. *Applied Energy*, 112, 1087–1099. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.12.063>
- Yoo, Y.** (2019). Hyperparameter optimization of deep neural network using univariate dynamic encoding algorithm for searches. *Knowledge-Based Systems*, 178, 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.knosys>

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- You, J., Ampomah, W., & Sun, Q.** (2020). Development and application of a machine learning based multi-objective optimization workflow for CO<sub>2</sub>-EOR projects. *Fuel*, 264. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116758>
- Zare, V., Yari, M., & Mahmoudi, S. M. S.** (2012). Proposal and analysis of a new combined cogeneration system based on the GT-MHR cycle. *Desalination*, 286, 417–428. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.12.001>
- Zhou, T., Liu, J., Liu, J., Ren, J., Ding, S., & Yang, S.** (2023). Energy-exergy-economic-environmental (4E) analysis and multi-objective optimization of a cascade LiBr/H<sub>2</sub>O refrigeration and Organic Rankine cycle integrated system for power generation. *Applied Thermal Engineering*, 225. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120142>



## TEŞEKKÜR

Tezimi tamamlamamda ve bu uzun yolculuk boyunca elde ettiğim başarıda emeği geçen birçok kişiye teşekkür etmek istiyorum.

Öncelikle, beni her aşamada cesaretlendiren ve yönlendiren başta tez danışmanlarım Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHANA ve Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI'ya, tezimde bilimsel katkılarıyla beni destekleyen ve tez izleme toplantılarında bilgi ve görüşleriyle katkı sağlayan değerli Prof. Dr. Emin AÇIKKALP ve Doç. Dr. Lutfiye ALTAY'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Maddi manevi her zaman yanımda olan sevgili annem Sevgi TİKTAŞ'a, babam Ünal TİKTAŞ'a ve kardeşim Ece TİKTAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum ve bu tezi kendilerine ithaf ediyorum.

14.02.2024

Aslı TİKTAŞ

## ÖZGEÇMİŞ

Üniversite Eğitim hayatına Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümün'de başlamış ve 2017 yılında bu bölümden mezun olmuştur. Yüksek lisans eğitimini 2020 yılında İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Makine Mühendisliği programında tamamlamış ve aynı yıl içinde Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği doktora programında öğrenimine başlamıştır.

2019 yılında Kırşehir Ahievran Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümün'de Araştırma Görevlisi olarak mesleğe ilk adımını atmış ve bu kurumda hala çalışmaya devam etmektedir. Ayrıca 2020-2023 yılları arasında doktora eğitimi için Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak görevlendirilmiştir.

Aslı TİKTAŞ'ın uluslararası alanda yayınlanmış 4 SCI makalesi bulunmaktadır. Ayrıca, uluslararası düzeyde 1 konferans bildirisine katılmış ve sözlü sunum yapmıştır. Temel araştırma alanları arasında temiz enerji teknolojileri, çok üretim çiktılı enerji sistemleri, optimizasyon ve ekserji analizi bulunmaktadır. Bu alanlarda uzmanlaşarak, sistemlerin modellenmesi ve ileri termodinamik açıdan incelenmesine katkıda bulunmaktadır.

## TEZ ÇIKTILARI

### Uluslararası İndekslerce Taranan Dergilerde Makaleler

• **Tiktaş, A., Gunerhan, H., & Hepbasli, A.** (2022). Single and multigeneration Rankine cycles with aspects of thermodynamical modeling, energy and exergy analyses and optimization: A key review along with novel system description figures. *Energy Conversion and Management: X*, 14, 100199.

• **Tiktaş, A., Gunerhan, H., & Hepbasli, A.** (2023). Exergy and sustainability-based optimisation of flat plate solar collectors by using a novel mathematical model. *International Journal of Exergy*, 42(2), 192-215.

• **Tiktaş, A., Gunerhan, H., Hepbasli, A., & Açikkalp, E.** (2023). Exergy-based techno-economic and environmental assessments of a proposed integrated solar powered electricity generation system along with novel prioritization method and performance indices. *Process Safety and Environmental Protection*, 178, 396-413.

• **Tiktaş, A., Gunerhan, H., Hepbasli, A., & Açikkalp, E.** (2023). Extended exergy analysis of a novel combined absorptional cooling and heat transformer system for economical and robust provision of higher cooling demands with low-grade waste heat source. *Energy Conversion and Mangement*. (İncelemede)

• **Tiktaş, A., Gunerhan, H., Hepbasli, A.** (2023). Exergoeconomic optimization of a proposed novel combined solar powered electricity and high-capacity cooling load production system for economical and potent generation via utilization of low-grade waste heat source. *Energy Conversion and Mangement*. (İncelemede)

### Ulusal Patent Başvurusu

Ege Üniversitesi ve Yaşar Üniversitesi işbirliğinde “ABSORPSİYONLU ISI YÜKSELTİCİSİ DESTEKLİ DÜŞÜK KAYNAK SICAKLIKLI ABSORPSİYONLU SOĞUTMA SİSTEMİYLE BÜYÜK SOĞUTMA KAPASİTELERİNİN EKONOMİK YOLDAN ELDE EDİLMESİ” başlıklı buluş ile 17.10.2023 tarihinde 2023/013194 başvuru numarası ile Türk Patent’e başvuru yapılmıştır.

