



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**TRİLATERAL ÇEVİRİM VE ORGANİK
RANKİNE ÇEVİRİMİNİ KULLANAN
BİRLEŞİK GÜÇ SİSTEMİNİN
TERMODİNAMİK ANALİZİ**

Mehmet ÖZÇELİK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Özçelik tarafından hazırlanan “Trilateral Çevrim ve Organik Rankine Çevrimini Kullanan Birleşik Güç Sisteminin Termodinamik Analizi” adlı tez çalışması 21/08/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Halil Kürşad ERSOY

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Nagihan BİLİR SAĞ

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Dilek Nur ÖZEN

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza 

Mehmet ÖZÇELİK

Tarih: 24.08.2020

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TRİLATERAL ÇEVİRİM VE ORGANİK RANKİNE ÇEVİRİMİNİ KULLANAN BİRLEŞİK GÜÇ SİSTEMİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

Mehmet ÖZÇELİK

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nagihan BİLİR SAĞ

2020, 92 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Nagihan BİLİR SAĞ

Prof. Dr. Halil Kürşad ERSOY

Dr. Öğr. Üyesi Dilek Nur ÖZEN

Yenilenebilir enerji kaynaklarının ısı enerjisini veya atık ısı enerjisini kullanarak güç üretmek için birçok yöntem vardır. Bu yöntemlerden en yaygın kullanılanlardan biri de Organik Rankine çevrimidir. Organik Rankine çevrimi ile birlikte Trilateral çevrim / Organik Rankine çevrimi kullanarak yenilenebilir veya atık ısı enerjisinden daha fazla yararlanmak amaçlanmıştır. Bu amaçla, Reküperatörlü Trilateral çevrim - Organik Rankine çevrim, Trilateral çevrim - Organik Rankine çevrim ve Organik Rankine çevrim - Organik Rankine çevrim birleşik güç sistemlerinin yapıları incelenerek Engineering Equations Solution (EES) programı yardımı ile termodinamik analizleri yapıldı. Birleşik güç sistemler için jeotermal kaynak ve düşük sıcaklık evaporatörünün farklı sıcaklık değerlerinde sistem performansını maksimum yapan en iyi akışkan çiftleri belirlendi ve bu belirlenen akışkan çiftleri kullanarak her üç sistem için de elde edilen sonuçlar karşılaştırıldı. Araştırılan çalışma şartları için hangi sistemin performansının daha iyi olduğu belirlendi. Jeotermal kaynak ve düşük sıcaklık evaporatörünün farklı sıcaklık değerlerinde üç birleşik güç çevrimin enerji analizi yapıldı. Çevrimlerde kullanılan çalışma akışkanları ile sistem çalışma şartlarına bağlı olarak en yüksek ısı verim ve güç çıkışı değerlerinin hangi birleşik güç sistemde elde edileceği araştırıldı.

Araştırma sonuçlarına göre, her bir çalışma şartı için ısı verimi ve/veya sistemden elde edilen net gücü maksimum yapan akışkan çiftleri olduğu tespit edildi. Jeotermal kaynağının veya düşük sıcaklık çevrim evaporatörünün sıcaklığı arttıkça araştırılan birleşik güç sisteminin de ısı veriminin arttığı bulundu. Jeotermal kaynağın her bir sıcaklığı için birleşik güç sistemin net gücünü maksimum yapan düşük sıcaklık çevrim evaporatör sıcaklığının olduğu tespit edildi. Çalışma şartlarına bağlı olarak ORÇ-ORÇ'nin net güç çıkışı araştırılan diğer sistemlerden elde edilen ile hemen hemen aynı veya % 23,5'e kadar daha yüksek olduğu belirlendi bu yüzden, araştırılan çalışma şartları için Organik Rankine çevrim - Organik Rankine çevrim birleşik güç sistemin kullanılması gerektiği sonucuna varıldı.

Anahtar Kelimeler: Birleşik güç sistemleri, organik akışkan, Organik Rankine çevrimi, reküperatör, Reküperatörlü Trilateral çevrim, Trilateral çevrim

ABSTRACT

MS THESIS

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF COMBINED POWER SYSTEM USING TRILATERAL CYCLE AND ORGANIC RANKINE CYCLE

Mehmet ÖZÇELİK

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering**

Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Nagihan BİLİR SAĞ

2020, 92 Pages

Jury

Advisor Asst. Prof. Dr. Nagihan Bilir SAĞ

Prof. Dr. Halil Kürşad ERSOY

Asst. Prof. Dr. Dilek Nur Özen

Many methods are used to generate power by using heat energy of renewable energy sources or waste heat energy. One of the most widely used of these methods is the Organic Rankine cycle. It is intended to be renewed using the Trilateral cycle / Organic Rankine cycle or for more purposes than waste heat energy. For this purpose, thermodynamic analyzes were carried out with the help of Engineering Equations Solution (EES) program by examining the structures of the recuperative Trilateral cycle - Organic Rankine cycle, Trilateral cycle - Organic Rankine cycle and Organic Rankine cycle - Organic Rankine cycle. For combined power systems, the best fluid pairs that maximize the system performance at different temperatures of the geothermal source and low temperature evaporator were determined, and the results obtained for all three systems were compared using these determined fluid pairs. It was determined which system's performance was better for the studied conditions. Energy analysis of three combined power cycles at different temperature values of geothermal source and low temperature evaporator. Depending on the operating fluids used in the cycles and the system operating conditions, it was investigated in which combined power system the highest thermal efficiency and power output values will be obtained.

According to the results of the research, it was determined that there are fluid pairs that maximize the thermal efficiency and / or net power obtained from the system for each working condition. It was found that as the temperature of the geothermal source or low temperature cycle evaporator increased, the thermal efficiency of the combined power system investigated increased. For each temperature of the geothermal source, it was determined that there is a low temperature cycle evaporator temperature that maximizes the net power of the combined power system. The net power output of ORC-ORC was determined to be almost the same or until 23.5 % higher than from other investigated systems, depending on the operating conditions, so the use of the Organic Rankine cycle - Organic Rankine cycle combined power system recommended for the studied operating conditions.

Keywords: Combined power systems, Organic fluid, Organic Rankine cycle, Recuperator, Recuperative Trilateral cycle, Trilateral cycle,

ÖNSÖZ

Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan bu çalışmanın, Trilateral Çevrim, ve Organik Rankine Çevrimi kullanan birleşik güç sistemleri ile güç üretimi üzerine fikir verici ve kapsamlı bir araştırma olduğu ve ilgililere faydalı olacağı kanaatindeyim.

Tezimin her aşamasında destek olup yol gösteren çok değerli hocam ve tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Nagihan Bilir Sağ'a ve beni destekleyip teşvik eden aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet ÖZÇELİK
KONYA, 2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. TLÇ-ORÇ Birleşik Güç Sistemleri ile İlgili Çalışmalar.....	5
2.2. RTLÇ-ORÇ Birleşik Güç Sistemleri ile İlgili Çalışmalar.....	7
2.2.1. RTLÇ ile ilgili çalışmalar.....	7
2.3. ORÇ-ORÇ Birleşik Güç Sistemi ile İlgili Çalışmalar.....	7
2.4. Tezin Literatüre Katkısı ve Önemi	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1. Birleşik Güç Sistemleri.....	12
3.1.1. Trilateral Çevrim – Organik Rankine Çevrim birleşik güç sistemi (TLÇ-ORÇ).....	12
3.1.2. Reküperatörlü Trilateral Çevrim – Organik Rankine Çevrim birleşik güç sistemi (RTLÇ-ORÇ).....	15
3.1.3. Organik Rankine Çevrim – Organik Rankine Çevrim (ORÇ-ORÇ) birleşik güç sistemi	17
3.2. Birleşik Güç Sistemleri için Çalışma Akışkan Analizi.....	19
3.2.1. A34GS’ye göre seçim nasıl yapılmalıdır?	19
3.2.1.1 Akışkanların zehirlilik açısından sınıflandırılması	20
3.2.1.2 Akışkanların yanıcılık açısından sınıflandırılması	20
3.2.2. Akışkanın ODP değerinin seçimi	21
3.3. Birleşik Güç Sistemlerinin Enerji Analizleri	23
3.3.1. Trilateral Çevrim - Organik Rankine Çevrim (TLÇ-ORÇ) birleşik güç sisteminin enerji analizi.....	23
3.3.2. Reküperatörlü Trilateral Çevrim - Organik Rankine Çevrim (RTLÇ-ORÇ) birleşik güç sisteminin enerji analizi.....	26
3.3.3. Organik Rankine Çevrim - Organik Rankine Çevrim (ORÇ-ORÇ) birleşik güç sisteminin enerji analizi.....	29
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	31
4.1. TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ Birleşik Güç Sistemlerinin Farklı Jeotermal Kaynak Sıcaklıkları için Enerji Analizleri	31

4.1.1. Jeotermal sıcaklığın 100 - 295 °C için birleşik güç sisteminin ısı verimini maksimum yapan akışkan çifti kullanıldığında sistemin performansının incelenmesi.....	31
4.1.2. Jeotermal sıcaklığı 100 – 210 °C için birleşik güç sisteminin net güç çıktısını maksimum yapan akışkan çifti kullanıldığında sistemin performansının incelenmesi....	34
4.1.3. Jeotermal sıcaklığı 220 – 280 °C için birleşik güç sisteminin ısı verim ve net güç çıktısını maksimum yapan akışkan çifti kullanıldığında sistemin performansının incelenmesi	38
4.2. TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ Birleşik Güç Sistemlerinin Düşük Sıcaklık Evaporatörünün Farklı Sıcaklıkları için Termodinamik Analizi	41
4.2.1. Düşük sıcaklık evaporatör sıcaklığı 100 – 200 °C için birleşik güç sistemlerinin güç performansının incelenmesi	41
4.2.2. Düşük sıcaklık evaporatör sıcaklığı 210 – 280 °C için birleşik güç sistemlerinin güç performansının incelenmesi	53
4.3. RTLÇ-ORÇ, TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ Birleşik Güç Sistemlerinin Karşılaştırmalı Enerji Analizi	58
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	64
5.1 Sonuçlar	64
5.2 Öneriler.....	66
KAYNAKLAR	67
EKLER	71
EK-1 BİLDİRİ.....	71
EK-2 TLÇ-ORÇ BİRLEŞİK GÜÇ SİSTEMİNİN ÇALIŞMA AKIŞKAN ANALİZİ.....	73
EK-3 ORÇ-ORÇ BİRLEŞİK GÜÇ SİSTEMİNİN ÇALIŞMA AKIŞKAN ANALİZİ.....	83
ÖZGEÇMİŞ	93

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

c	:	Özgöl ısı	(kJ/kg)
h	:	Entalpi	(kJ/kg)
$\dot{m}$	:	Kütleli debi	(kg/s)
P	:	Basınç	(kPa)
$\dot{Q}$	:	Sistemin dışardan aldığı toplam ısı enerjisi	(kW)
s	:	Entropi	(kJ/kg K)
T	:	Sıcaklık	(°C)
$\dot{W}$	:	Güç	(kW)
ΔT_{rek}	:	Rekuperatör giriş ve çıkışı arasındaki sıcaklık değişimi	(°C)
η	:	İzentropik verim	
$\eta_{b,th}$	:	Birleşik güç sistemin ısı verimi	

Kısaltmalar

A36GS	:	Akışkan güvenlik sınıfı
CFC	:	Kloroflorokarbon
CNG	:	Sıkıştırılmış doğal gaz
çık	:	Çıkan
EES	:	Engineering Equation Solver
EV	:	Evaporatör
gen	:	Genleştirici
gir	:	Giren
GWP	:	Küresel ısınma potansiyeli
HCFC	:	Hidrokloroflorokarbon
HFC	:	Hidroflorokarbon

HFO	:	Hidrofloroolefin
jeo	:	Jeotermal kaynak
ODP	:	Ozon delme potansiyeli
OFÇ	:	Organik Flaş Çevrimi
ORÇ	:	Organik Rankine Çevrimi
ort	:	Ortalama
p	:	Pompa
P ₁	:	Pompa 1
P ₂	:	Pompa 2
ppm	:	Milyonda bir partikül
RORÇ	:	Rekuperatörlü Organik Rankine Çevrimi
RTLÇ	:	Rekuperatörlü Trilateral Çevrim
t	:	Türbin
t ₁	:	Türbin 1
t ₂	:	Türbin 2
rek	:	Rekuperatör
TFÇ	:	Trilateral Flaş Çevrim
TLÇ	:	Trilateral Çevrim
1,2,...11	:	Çevrimlerdeki akışkanların termodinamik durumlarını belirten noktalar

1. GİRİŞ

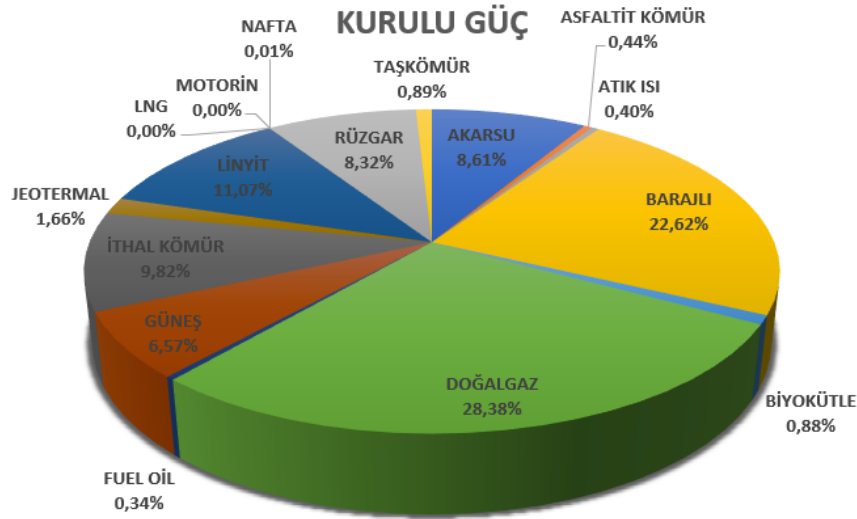
Isı enerjisinden faydalanma insanoğlunun ilk varoluşundan günümüze kadar devam etmektedir. Su ısıtma, mahal ısıtma, yiyeceklerin kurutulması gibi endüstriyel alanlarda, tarımda, sanayi kollarında, enerji santrallerinde ve aydınlatma gibi birçok alanda ısı enerjisinden yararlanılmaktadır.

Dünya nüfusun artmasıyla enerji ihtiyacı da giderek artmakta ve kaynakların bilinçsizce kullanılması nedeniyle konvansiyonel enerji kaynakları da azalmaktadır. Bu da bilim dünyasını, alternatif kaynak arayışlarına yöneltmektedir. Alternatif kaynak arayışları sonucunda güneş, rüzgar, atık ısı, jeotermal, biyokütle, hidrojen ve dalga enerjisi gibi birçok çeşidi olan yenilenebilir enerji kaynaklarından nasıl ve hangi alanlarda yararlanılacağı araştırılmakta, bu konudaki bilimsel çalışmalar artmaktadır ve bu konu her geçen gün daha da önem kazanmaktadır.

Yenilenebilir enerjilerden faydalanmak için hem ülkemizde hem de dünyada çok sayıda hidroelektrik santraller, güneş enerjisi santralleri, rüzgar tarlaları ve jeotermal güç santralleri kurulmuştur. 2019 yılı itibariyle ülkemizde enerji üretimindeki kaynaklar ile her kaynağın genel üretim içerisindeki oranı Çizelge 1.1’de ve kaynak kurulu güç dağılımı ise Şekil 1.1’de görülmektedir.

Çizelge 1.1. Türkiye elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı (Anonim, 2020)

2019 YILI KAYNAKLARA GÖRE ELEKTRİK ÜRETİMİ		
KAYNAK	ÜRETİM (GWh)	ORAN
TAŞKÖMÜRÜ + İTHAL KÖMÜR+ASFALTİT	66.224	21,77%
LİNYİT	46.894	15,41%
SIVI YAKITLAR	734	0,24%
DOĞAL GAZ +LNG	56.703	18,64%
YENİLENEBİLİR + ATIK	4.524	1,49%
JEOTERMAL + RÜZGAR+GÜNEŞ	40.287	13,24%
HİDROLİK	88.886	29,21%
TOPLAM	304.252	100,0%



Şekil 1.1. Türkiye 2019 yılı kaynak bazlı kurulu güç dağılımı (Anonim, 2020)

Çizelge 1.1’de yenilenebilir enerji ve atık ısıdan elektrik üretiminin oldukça düşük bir seviyede olduğu görülmektedir. Bu hem atık ısıdan hem de yenilenebilir kaynaklardan yeterince verimli faydalanılmadığını göstermektedir. Ayrıca gelişen dünyada enerji ihtiyacının çok çok yüksek olduğu ve gün geçtikçe de önem kazandığı düşünüldüğünde atık ısı ve yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan jeotermal enerji kaynağından ilk çağlarda sadece sağlık amaçlı yararlanırken günümüzde; ısıtma amaçlı, farklı enerji türlerine dönüştürülerek ve endüstride farklı şekillerde proses ısı olarak yararlanılmaktadır.

Türkiye’de kurulu jeotermal elektrik santrallerinin toplam gücü 1000 MWe barajını aşmıştır. Son yıllarda yapılan yatırımlar sonucunda jeotermal enerjide dünyada en hızlı büyüyen ülke Türkiye olmuştur. Dünyada jeotermal kurulu güç yaklaşık 14.000 MWe olup, ülkemiz, 2017 verilerine göre dünyada 4. sırada bulunmaktadır (Kaya, 2018).

Ülkemizde sıcaklıkları 20-295 °C arasında değişen 1.500 adet sıcak ve mineralli jeotermal su kaynağı mevcuttur. Bu kaynaklardan elektrik üretimi gerçekleştirilen sahalar ve sıcaklık değerleri Çizelge 1.2’de görülmektedir:

Çizelge 1.2. Elektrik Üretimini Olduğu Jeotermal Sahaların Sıcaklıkları (Kaya, 2018 ve Anonim, 2019)

Saha Adı	Sıcaklık (°C)	Saha Adı	Sıcaklık(°C)
Nevşehir-Bozköy	295	Denizli-Tekkehamam	168
Manisa-Alaşehir-Köseali	287	Kütahya-Simav	162
Manisa-Alaşehir	265	Aydın-Umurlu	155
Manisa-Alaşehir-Göbekli	250	İzmir-Seferihisar	153
Manisa-Salihli-Caferbey	249	Denizli-Bölmekaya	147
Denizli-Kızıldere	242	Aydın-Hıdırbeyli	146
Aydın-Germencik-Ömerbeyli	239	İzmir-Dikili-H.Çiftliği	145
Manisa-Alaşehir-Kurudere	214	Aydın-Sultanhisar	145
Aydın-Yılmazköy	192	Aydın-Bozyurt	143
Aydın-Pamukören	188	Denizli-Karataş	137
Manisa-Alaşehir-Kavaklıdere	188	İzmir-Balçova	136
Manisa-Salihli-Göbekli	182	İzmir-Dikili-Kaynarca	130
Kütahya-Şaphane	181	Aydın-Nazilli-Güzelköy	127
Çanakkale-Tuzla	174	Aydın-Atça	124
Aydın-Salavatlı	171	Denizli Sarayköy Gerali	114

Tek kademeli termodinamik çevrimlerle döngüde kullanılan çalışma akışkanına verilen ısı enerjisinden iş üretmek amaçlanır ve kullanılmayan ısı; akarsulara, okyanuslara ve atmosfere verilmektedir. Özellikle ısı işlemlerin yoğun olduğu endüstrilerde oldukça fazla elektrik üretildiğinden kayıp atık ısı miktarı da yüksektir, bu durum iş potansiyeline sahip atık ısıdan güç üretme fikrini ortaya çıkarmıştır ve bu da birleşik güç sistemlerinin gelişmesini sağlamıştır.

Jeotermal kaynakları kullanarak Kalina çevrimli birleşik güç sistemleri, çift akışkanlı çift kademeli sistemler ve rejeneratörlü çift kademeli birleşik güç sistemleri gibi sistemler kullanılarak güç üretilmektedir.

Bu kapsamda tezde, düşük ve orta sıcaklığa sahip jeotermal enerji kaynağının ısı enerjisinden maksimum oranda faydalanmak için Trilateral çevrim (TLÇ) ve Organik Rankine çevrimini (ORÇ) kullanan birleşik güç sisteminin kapsamlı akışkan çifti araştırması ve termodinamik analizini yapmak amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın bir diğer amacı ise açık literatürde daha önce çalışılmamış olan Reküperatörlü Trilateral Çevrim – Organik Rankine Çevrimi (RTLÇ-ORÇ) kullanan birleşik güç sistemlerinin hem akışkan çifti araştırmasını hem de termodinamik analizini yapmaktır.

Bununla birlikte, jeotermal enerji kaynağının ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmekte yaygın olarak kullanılan Organik Rankine Çevrim – Organik Rankine Çevrimi (ORÇ-ORÇ) birleşik güç sisteminin enerji analizlerini yapmak ve araştırılan diğer birleşik güç sistemleri ile karşılaştırmak da amaçlanmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak güç üreten çevrimlerden biri olan Organik Rankine Çevriminin Trilateral, Reküperatörlü Trilateral veya Organik Rankine Çevrimi ile birlikte kullanıldığı birleşik güç sistemleri ile ilgili yapılan çalışmaların özeti aşağıda verilmiştir.

2.1. TLÇ-ORÇ birleşik güç sistemleri ile ilgili çalışmalar

Açık literatürde TLÇ-ORÇ birleşik güç sistemi ile ilgili yalnızca birkaç makale bulunmaktadır. Bunlardan biri Yu ve ark. (2018) yaptığı çalışmadır. Bu çalışmada, ORÇ-ORÇ sisteminin yüksek sıcaklık çevrimi için ORÇ yerine TLÇ önerilmiştir. ORÇ-ORÇ ile TLÇ-ORÇ sistemleri termodinamiğin birinci ve ikinci yasa analizlerini kullanarak karşılaştırılmıştır. Hem yüksek hem de düşük sıcaklık çevrimlerinin evaporatör sıcaklığının yüksek ve düşük sıcaklık çevrimleri üzerindeki etkilerini farklı çalışma akışkanları için ayrı ayrı sistematik olarak incelemiştir. Ayrıca karşılaştırılan iki sistemdeki her bir bileşen, ekserji yıkımı ve ekserji verimi açısından karşılaştırılmıştır. $T_{EV,1} = 470$ K ve $T_{EV,2} = 343$ K sıcaklık şartları altında ORÇ-ORÇ'nin maksimum net güç çıktısı, ısı verimi ve ekserji veriminin, yüksek sıcaklık iş akışkanı Sikloheksan kullanıldığında, sırasıyla 8.8 kW, % 18,7 ve % 50; TLÇ-ORÇ için, yüksek sıcaklık iş akışkanı olarak Toluen kullanıldığında ise değerler sırasıyla, 11.8 kW, % 25 ve % 65,6 olarak bulunmuştur. Bu değerler ORÇ-ORÇ sisteminin değerlerinden % 34,1, % 33,7 ve % 31,2 daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Diğer bir çalışmada, Li ve ark. (2019) atık ısı kaynağı ve çalışma akışkanı arasında daha iyi bir ısı uyum elde etmek için TLÇ-ORÇ birleşik güç sistemini kullanmışlardır. Yüksek sıcaklık çevrimi olan TLÇ için Sikloheksan, Toluen, Benzen ve su akışkanlarını; düşük sıcaklık çevrimi olan ORÇ de ise R245fa soğutucu akışkanını çalışma akışkanı olarak seçerek TLÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin termodinamik analizini yapmışlardır. Maksimum sistem performansı TLÇ'de çalışma akışkanı olarak Toluen kullanılması durumunda elde edilmiştir. Evaporatör sıcaklıkları arttıkça sistemin net güç çıkışının, ısı veriminin ve ekserji veriminin arttığı gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklık evaporatör sıcaklığı 530 K ve düşük sıcaklık evaporatör sıcaklığı 373 K için TLÇ'de akışkan olarak Toluen kullanılması durumunda birleşik sistemin net güç çıkışı 11.3 kW, ısı verimi % 24,2 ve ekserji verimi % 63,2 olarak bulunmuştur.

Araştırmacılar çalışmalarında birleşik güç sisteminin ekserji analizini de yapmışlardır ve maksimum ekserji yıkımının TLÇ'nin evaporatöründe, minimum ekserji yıkımının ise TLÇ'nin kondenserinde gerçekleştiği sonucunu bulmuşlardır.

Literatürde ORÇ ve TLÇ çevrimlerinin karşılaştırıldığı çalışmalar da vardır.

Iqbal ve ark. (2020), enerjiden daha yüksek verimle faydalanmak ve güç üretim kapasitesini artırmak amacıyla bir Trilateral Flaş Çevrim (TFÇ) sistemi geliştirmiştir. Deneysel çalışmada tanıtılan sistem; türbin, ısı eşanjörü, kondenser, lüle ve pompadan oluşmaktadır. Sistemin güç üretim kapasitesinin, uygun türbinlerinin kullanımının ve lülenin izentropik veriminin bir fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir. TFÇ sisteminin ekonomik analizini sonucu olarak % 40 lüle izentropik verimi alındığında ve lüle daha verimli kullanılarak, sistem 20 yıllık çalışma ömrü ile yaklaşık 10 yıllık bir amortisman süresi göstermiştir.

Chang ve ark. (2019), ısı kaynağı sıcaklığının çalışma akışkanının kritik sıcaklığına yaklaştıkça daha iyi enerji performansı elde edilebileceğini vurgulamışlardır. TLÇ çevrimi ile sistemde genleştiricinin boyutunu azaltmanın yoğunlaşma sıcaklığındaki buhar basıncına ve genleştirici çıkışındaki buhar yoğunluğuna bağlı olduğunu ayrıca düşük kritik sıcaklığa sahip çalışma akışkanlarının sistemde kullanılması gerektiği belirtilmiştir. 13 çalışma akışkanı arasında n-bütan ve R152a akışkanları ile çalışıldığında sistemin daha yüksek net güç çıkışı ve genleştiricide akışkanın daha düşük hacimsel debiye sahip olduğu görülmüştür.

Cipollone ve ark. (2017), TFÇ sisteminde pozitif deplasmanlı genleştirici kullanarak, sistemdeki çalışma akışkanları ile bu akışkanların en son teknoloji durumunu referans alarak çalışmışlardır. TFÇ sisteminde genleştiricinin basınç oranına uygun olarak doğru ve sabit bir hacim oranının gerekli olduğunu önemi vurgulanmıştır. Bu iki parametrenin birbiriyle uyuşması ile net güç geri kazanımının artacağı ön görülmüştür.

Li ve ark. (2017), ORÇ'lerde ısı kaynağı ile çalışma akışkanı arasındaki ısıl uyumsuzluk nedeniyle evaporatörde büyük ekserji yıkımı gerçekleştirdiğini ve bunun da çevrimin ısı verimini düşürdüğünü vurgulamışlardır. TLÇ ve Organik Flaş Çevrimi (OFÇ) sistemlerinin ORÇ'lere kıyasla sıcak kaynakla çalışma akışkanı arasındaki ısıl uyum bakımından daha iyi performans gösterdiklerini, bu nedenle de bu sistemleri ORÇ çevriminden kıyasla daha iyi termal sonuçlar elde edilebilecek sistemler olarak değerlendirmişlerdir. MATLAB ve REFPROP yazılımlarında bu üç çevrim için termodinamik modeller oluşturularak sistemlerin karşılaştırmalı termodinamik analizini

yapmışlardır. Sonuçlar, TLÇ'nin 152 °C maksimum buharlaşma sıcaklığında sırasıyla 13.6 kW net güç çıkışı, % 14.8 ısı verim ve % 40.8 ekserji verim değerlerine sahip olduğu ve diğer çevrimlere kıyasla net güç çıkışı, ısı veriminin ve ekserji veriminin daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.

2.2. RTLÇ-ORÇ birleşik güç sistemleri ile ilgili çalışmalar

2.2.1. RTLÇ ile ilgili çalışmalar

Açık literatür araştırmasında RTLÇ-ORÇ birleşik güç sistemi ile ilgili herhangi bir bilimsel çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca, RTLÇ ile ilgili de çalışma yok denecek kadar azdır.

TLÇ güç sistemi, düşük ila orta sıcaklıktaki ısı kaynaklarından güç geri kazanımı sırasında yüksek ısı verim sağladığından Ajmotakan (2015) R601 (n-pentan) çalışma akışkanıyla farklı çalışma prensiplerine sahip dört ayrı TLÇ konfigürasyonunu, EES programı ile termodinamik olarak modellemiştir. Çevrimlerin termodinamik performansı; ısıtma-yoğuşurma süreçlerinin verimi ve ekserji verimi dikkate alınarak karşılaştırmıştır. Yapılan analiz sonucu, 473 K evaporatör sıcaklığında çalışan basit TLÇ, reküperatörlü TLÇ, yeniden ısıtmalı TLÇ ve rejeneratif TLÇ çevrimleri için sırasıyla % 21.97, % 23.91, % 22.07 ve % 22.9 ısı verim değerlerinin elde edebileceğini göstermiştir. Reküperatörlü TLÇ'de, ısı eşanjörü ve kondenserde diğer çevrimlere göre en düşük ekserji yıkımı gerçekleştiğinden bu çevrim ile en yüksek ısı verim değerine ulaşılmıştır.

2.3. ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemi ile ilgili çalışmalar

Braimakis ve Karellas (2018) atık ısı geri kazanımı için ORÇ-ORÇ'nin ekserji optimizasyonunu yapmışlardır. Optimizasyon değişkenleri olarak yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık çevrimlerinin evaporatör basınçları ile yüksek sıcaklık çevrimindeki buharlaştırıcı minimum sıcaklık farkı ve kondenser sıcaklığı seçilmiştir. Tek kademeli ORÇ ile karşılaştırıldığında ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinin ekserji verimini iyileştirme potansiyelini araştırmayı ve 100 - 300 °C arasındaki ısı kaynağı sıcaklıkları için net güç çıkışlarını en üst düzeye çıkarmayı amaçlamışlardır.

Mohammadkhani ve Yari (2019) dört zamanlı turboşarjlı dizel motor için sıfır boyutlu bir simülasyon modeli geliştirmiştir. Motorun hem egzoz atık ısısı hem de soğutma suyunun atık ısısından yararlanmak amacıyla transkritik bir ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemi kullanmışlardır. Yüksek ve düşük sıcaklık çevrimlerinde sırasıyla Toluen ve R143a çalışma akışkanları kullanıldığında en iyi termodinamik sonuçların elde edildiğini görmüşlerdir.

Lu ve ark. (2018), jeotermal sistemlerde birleşik güç çevrimlerinin hem termodinamik hem de tekno-ekonomik analizini yapmışlardır. Bu çalışmada tek flaş sistemi, çift flaş sistemi, flaş-ORÇ sistemi ve çift flaş-ORÇ sistemi olmak üzere dört güç üretim sisteminin termodinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Sistemlerin net güç çıkışını % 20 oranında artırmak amacıyla, sistemler arasında yapılan karşılaştırmalar ile optimizasyon yapılmıştır. R123, R152a, izobütan, n-pentan ve R245fa çalışma akışkanları her bir sistemde çalıştırılmış ve farklı jeotermal akışkan koşulları altında optimum jeotermal enerji çevrimlerinin seçilmesi amaçlanmıştır. Tekno-ekonomik analizde ise elektrik seviye maliyeti ve geri ödeme süresi değerlendirilmiştir.

Yang ve ark. (2017a) altı silindirli bir CNG (sıkıştırılmış doğal gaz) motorun egzoz atık ısısını, soğutma sisteminden gelen atık ısıyı ve iç soğutucu atık ısısını geri kazanmak amacıyla ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemi için termodinamik, ısı transferi ve optimizasyon modelleri oluşturmuştur. CNG motorunun tüm çalışma aralığı boyunca atık ısı karakteristiklerine uygun olarak net güç çıkışını en üst düzeye çıkarmak ve ısı transfer alanını en aza indirmek amacıyla termodinamik ve ısı transfer performansları bir GA (genetik algoritma) kullanılarak Pareto yöntemiyle çözülmüştür. Bu analiz ile sistemin optimum çalışma aralığını belirlemişlerdir. Analizde ayrıca yüksek sıcaklık çevriminin optimum buharlaşma basıncı ve aşırı ısınma derecesinin CNG motorunun çalışma koşullarından etkilendiği sonucuna varmışlardır. Yang ve ark. (2017b) ayrıca başka bir çalışmalarında ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinin termo - ekonomik optimizasyon ve analizini çalışmışlardır.

Apostol ve ark. (2015) ORÇ, ön ısıtmalı ORÇ, rejeneratif ORÇ, ORÇ-rejeneratif ORÇ, ORÇ-ORÇ ve ön ısıtmalı ORÇ-rejeneratif ORÇ sistemleri arasında motor jeneratörün baca gazı atık ısısı ve motor soğutma suyu atık ısısının geri kazanımını sağlarken aynı zamanda maksimum güç çıkışı elde edilen çevrimi seçmeyi amaçlamışlardır. Akışkan analizi ile de en iyi güç çıkış değerlerine ulaşılan çalışma akışkanını bulmaya çalışmışlardır. Yapılan termodinamik analiz sonuçlarına göre farklı kimyasal sınıftan on çalışma akışkanı için en iyi konfigürasyonun ORÇ-ORÇ birleşik

güç sistemi ve en iyi akışkanın da çok düşük küresel ısınma potansiyeli (GWP), sıfır ozon delme potansiyeli (ODP) ve iyi güvenlik özelliklerine sahip R1336mzz adlı yeni nesil bir hidrofloroolefin (HFO) grubu akışkanı olduğunu bulmuşlardır.

Wang ve ark. (2012) ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemleri ile hem egzoz atık ısısından hem de motor ceket suyu atık ısısından elektrik üretimini amaçlamışlardır. Bu birleşik güç sistemin yüksek sıcaklık çevrimi ile düşük sıcaklık çevriminin net güç çıkış ve ısı verimlilik açısından karşılaştırmıştır. Song ve Gu (2015) benzer bir çalışmada egzoz atık ısısından ve motor ceket suyu atık ısısından elektrik üretimini ve yüksek sıcaklık çevriminin atık ısısının da yüksek sıcaklık kondenserini düşük sıcaklık evaporatörü olarak kullanıp geri kazanımını hedeflemiştir.

Wang ve ark. (2014) genleştirici izentropik veriminin, yüksek sıcaklık çevriminin buharlaşma basıncının ve düşük sıcaklık çevriminin yoğunlaşma sıcaklığının ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlar, ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin kullanılmasının, bir dizel otomotiv motorunun net güç çıkışını, motorun izin verilen çalışma koşulları altında ve yüksek ısı verim değerlerinde % 19 – 22 oranında, aracın yüksek hız ve düşük hız bölgelerinde ise sırasıyla % 53 ve % 72 oranlarında iyileştirdiğini göstermiştir.

Astolfi ve ark. (2020) ORÇ enerji santrallerinde atık ısı ünitelerinde su püskürtmeli ıslak sistem ve kuru sistemi kullanarak, bu sistemler arasında potansiyel avantaj olup olmadığını araştırmışlardır. Düşük sıcaklıkta tuzlu sudan yararlanarak ve yoğunlaşma ısını ortama yaymak için kapalı bir soğutma suyu çevrimi kullanan jeotermal enerji santralini referans almışlardır. Tüm tesisin tasarım dışı çalışması, ORÇ'nin gerçekçi kısmi yük davranışı ve atık ısı için deneysel olarak doğrulanmış korelasyonları kullanarak sistemi ekonomik açıdan optimize etmişlerdir. Su püskürtme sistemi ve adyabatik panellerle donatılmış yeni LU-VE Emeritus ünitesi ile elde edilebilen performans, kuru sistemde aynı ünite ile elde edilebilenlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, elektrik üretiminin yanı sıra kuru bir üniteye göre Emeritus üniteleri ile elde edilen gelirlerde de önemli derecede bir artış olduğunu göstermiştir.

Altun ve Kılıç (2020) 3 MWe net güç çıkış kapasitesine sahip AFJET jeotermal ORÇ santralini ölçülen verilerini kullanarak çevrimin her bir bileşeninin ve tüm tesisin enerji ve ekserji verim analizini yapmışlardır. Sonuçlar net güç üretiminin kış aylarına oranla yaz aylarında % 36'ya kadar düşebileceğini göstermiştir. Sistemin enerji geri dönüşüm oranı ve ekserji verimi ise sırasıyla % 11.24 ve % 39.03 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, tesisin performansını artırmak için iç bir ısı geri kazanım sistemi önermişlerdir.

Analizler, iç ısı geri kazanım sisteminin uygulanmasının tesisin enerji ve ekserji verimini % 15 artırdığını göstermiştir.

Rashwan ve ark. (2019) kademeli bir döngü ile entegre bir ORÇ'nin, tek kademeli çevrimin ve reküperatörlü çevrimin termodinamik analizini yapmışlardır. Çalışma akışkanı olarak propan kullanıldığında çalışma şartlarının üç çevrim için enerji ve ekserji verimi üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamışlardır. Kademeli döngünün güç çıkışı, tek kademeli çevrime kıyasla % 73'lük önemli bir artış gösterdiğini bulmuşlardır. Kademeli döngünün enerji verimi açısından % 8, ekserji verimi açısından ise yaklaşık % 21 oranında artış gösterdiğini hesaplamışlardır. Isı kaynağı sıcaklığının 200 °C'den yüksek olduğu durumlarda kademeli döngünün kullanılması önerilmiştir.

Mondal ve ark. (2018) Organik Flaş Çevrimini (OFÇ) sıcaklık kaynakla çalışma akışkanı arasında daha iyi bir ısı uyum elde etmek amacı ile atık ısı geri kazanımı için seçmişlerdir. OFÇ'nin etkinliği, yüksek ve düşük basınç elemanlarının yüksek tersinmezliğe sahip olmaları nedeniyle önemli ölçüde azalır. Bu çalışmada, OFÇ'nin bu dezavantajın üstesinden gelmek için düşük basınçlı gaz kelebeği valfi bir ejektör ile değiştirilmiştir. Buhar seperatöründen çıkan doymuş sıvı akımı, primer akış olarak ejektör memesinde hızlandırılır ve türbinden çıkan akım ise ikincil akış olarak ejektörde tutulur. Ejektörün varlığı nedeniyle, OFÇ'nin buhar seperatöründen çıkan doymuş buhar, türbin içindeki kondenser basıncından daha düşük bir basınca kadar genişletilebildiğinden ejektörlü OFÇ'nin, ısı verim ve güç çıkış değerleri bakımından basit OFÇ'nin değerlerine kıyasla yaklaşık % 9.5 artış gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Tiwari ve ark. (2017), güneş enerjili ORÇ'nin termodinamik bir modelini geliştirmişlerdir. Düşük küresel ısınma potansiyeli ve sıfır ozon tüketme potansiyele sahip çalışma akışkanları olan sikloheksan ve R245fa kullanılarak Reküperatörlü Organik Rankine Çevrimi (RORÇ) ile konvansiyonel bileşik parabolik kollektör kullanımını önermişlerdir. Birim saatte akışkanın yoğunlaştırıcı çıkış sıcaklığını, yoğunlaştırıcıdaki ısı kazancını, genleştirici güç çıktısını, ısı verimini, ekserji verimini ve ekserji yıkımını değerlendirmek için termodinamik modeller geliştirmişlerdir. RORÇ ile konvansiyonel bileşik parabolik kollektörünün performansı, basit ORÇ ile konvansiyonel parabolik kollektör ile karşılaştırılmıştır. RORÇ sistemi ile ısı verimin % 40,9, ekserji veriminin ise % 36,28 oranında iyileştiği görülmüştür.

Agromayor ve Nord (2017) ısı kaynağının sıcaklığı 250 °C ve ısı değiştiricisindeki kütleli debi 10 kg/s olduğu durumda atık ısı geri kazanım

uygulaması için ORÇ kullanmışlardır. 80 saf çalışma akışkanından uygun akışkanları seçmek için fonksiyon olarak ikinci yasa verimine göre bir genetik algoritma kullanarak termodinamik optimizasyon ile genişletirici performansını analiz etmişlerdir. Kuru veya izentropik özelliğe sahip akışkanlar ile transkritik-geri kazanılmış çevrimde, çalışma akışkanının kritik sıcaklığının, ısı kaynağı sıcaklığından daha düşük olduğunda en uygun akışkanlar olarak belirlenmiştir.

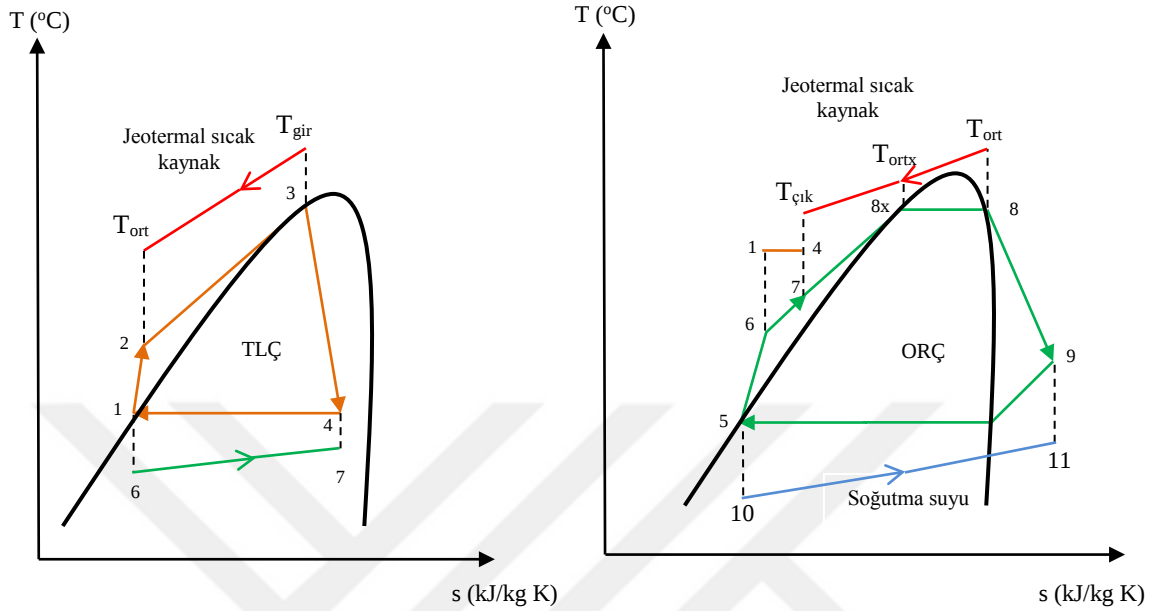
Imran ve ark. (2016) düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynak ile ORÇ, RORÇ ve rejeneratif ORÇ sistemlerini kullanarak enerji analizi yapmışlardır. Genel Algoritma –II kullanılarak her çevrimin termodinamik performansını karşılaştırmışlar. Araştırma sonucu RORÇ ve rejeneratif ORÇ'nin ısı verim ile ekserji verim değerlerinin ORÇ'nin değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

2.4. Tezin Literatüre Katkısı ve Önemi

Literatürde ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemleriyle ilgili çalışmaların yapılmış olduğu buna karşın TLÇ-ORÇ'yi konu alan çalışmaların yok denecek kadar az olduğu görülmüştür. Bu nedenle ORÇ ve TLÇ'nin kullanıldığı birleşik güç çevrimlerinin analiz sonuçları literatüre önemli ölçüde katkı sağlayacaktır.

Bununla birlikte açık literatürde daha önce çalışılmamış olan RTLÇ-ORÇ kullanan birleşik güç sisteminin termodinamik analizini yapmak ve sonuçlarını literatüre kazandırmak tezin önemini ortaya koymaktadır.

Ayrıca farklı jeotermal kaynak sıcaklıkları için hangi akışkan çiftinin birleşik güç sisteminin verimini veya gücünü maksimum yaptığının belirlenmesi de bu tez çalışmasını ön plana çıkarmaktadır.



Şekil 3.2. TLÇ-ORÇ sisteminin T-s diyagramı

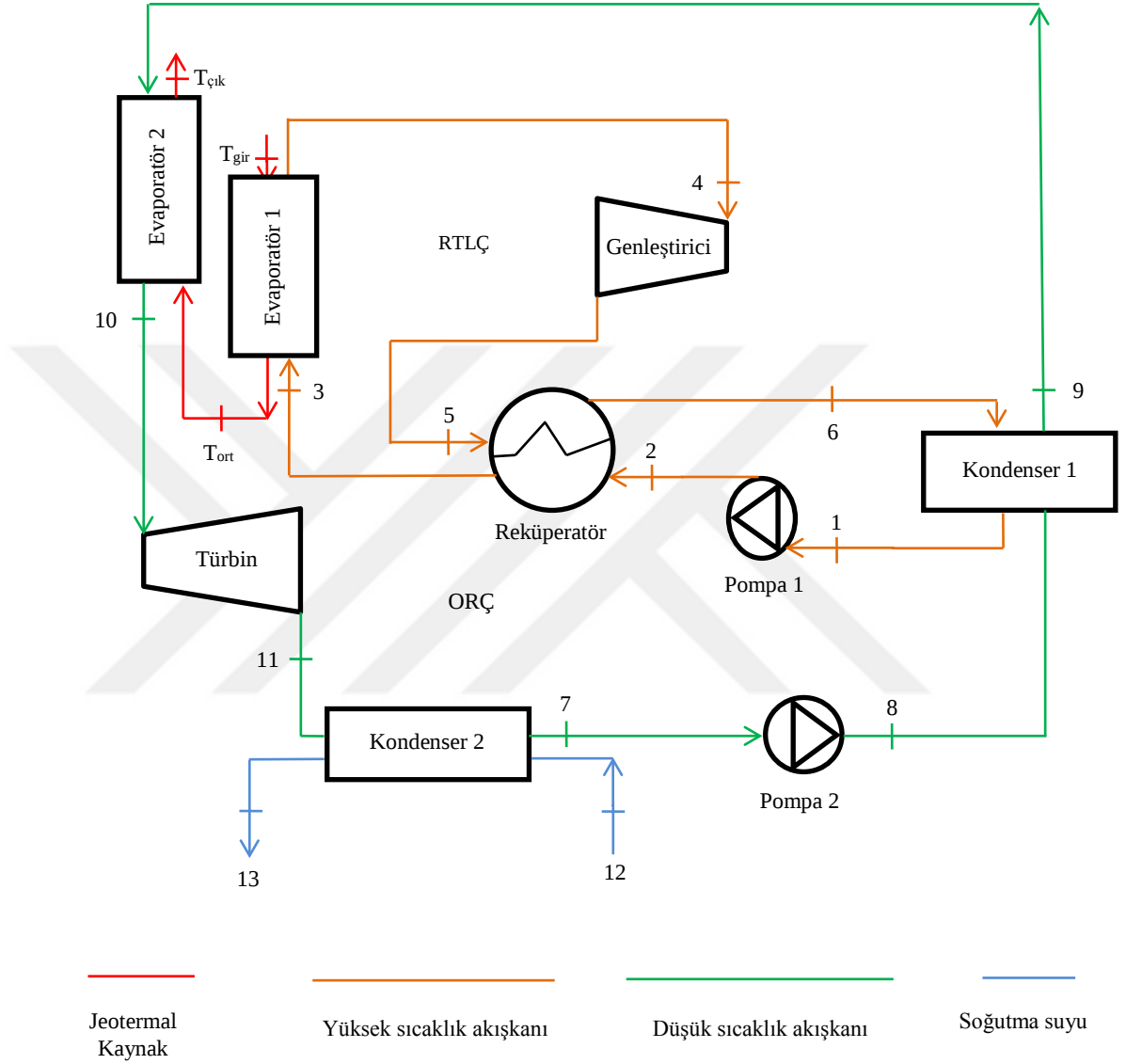
TLÇ-ORÇ birleşik güç sisteminde yüksek sıcaklık çevrimi TLÇ, düşük sıcaklık çevrimi de ORÇ'dir. TLÇ ve ORÇ çalışma prensibi olarak Rankine çevrimine oldukça benzerler. Ayırt edici en önemli farkı organik akışkanın kullanılmasıdır. Organik akışkanların suya göre kritik sıcaklık ve kritik basınç değerleri daha düşük, moleküler ağırlığı ise daha yüksektir. Bu organik akışkanların daha çabuk ısı enerjisini bünyesine alarak çabuk buharlaşmasını sağlar. Bu özellikle de çok düşük sıcaklıklı enerji kaynaklarını kullanmaya imkan sağlanır. Aynı zamanda organik akışkanlar çalışma akışkanı olarak sistemde çalışırken sistem elemanlarının korozyona uğrama ihtimali düşer ve sistem ömrü uzar. İnorganik akışkanlar, organik akışkanlara kıyasla düşük kütle akış oranına ve küçük ısı girdisine sahiptir. ORÇ'lerde organik akışkanlar kullanıldığı için çevrimin temiz ve daha verimli çalışması beklenmektedir. Bu nedenlerden dolayı da çalışma akışkanı olarak organik akışkanlar tercih edilmektedir.

TLÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin çalışma prensibi şöyledir: TLÇ-ORÇ birleşik güç sisteminde çalışma akışkanı yüksek sıcaklık çevriminin pompasına 1 durumunda doymuş sıvı olarak girer ve 2 durumunda pompayı terk eder. 2 durumunda sıkıştırılmış sıvı fazında evaporatör 1'e girer ve burada jeotermal kaynaktan ısı enerjisini çekerek

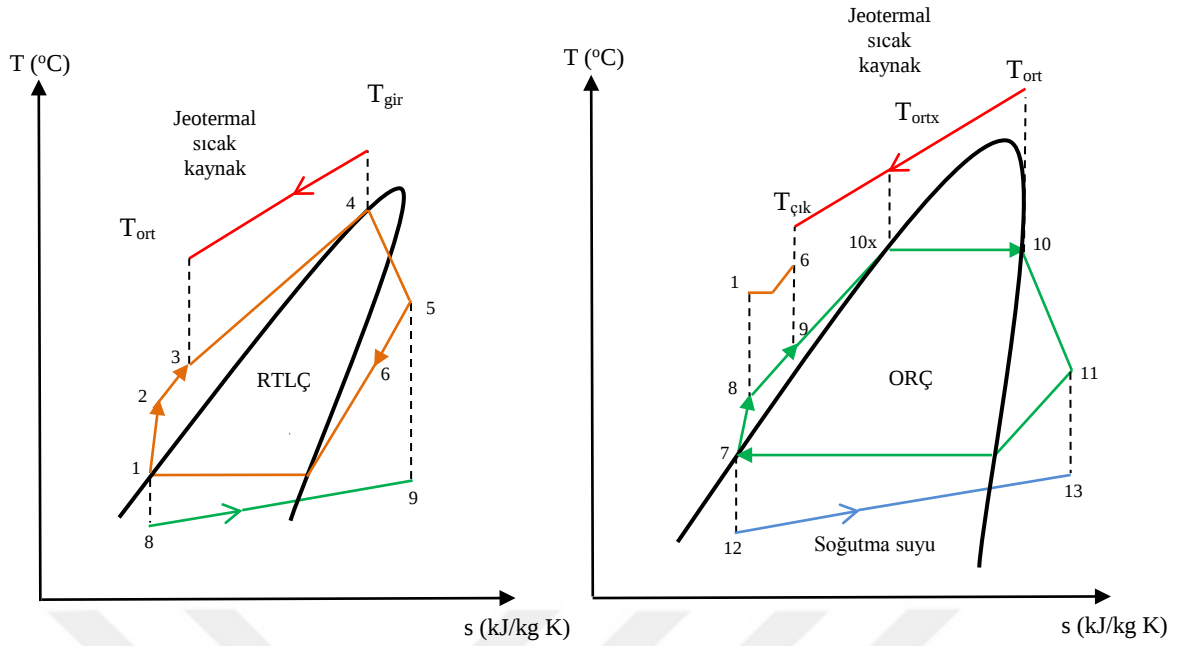
doymuş sıvı durumuna gelir ve evaporatörden çıkar. 3 durumunda genleştiriciye giren akışkan çalışma şartlarına bağlı olarak 4 durumunda sıvı-buhar karışımı, doymuş buhar ya da kızgın buhar olarak genleştiriciyi terk eder. 4 durumunda kondenser 1'e giren akışkan düşük sıcaklık çevrimindeki akışkana ısısını vererek yoğuşur ve 1 durumunda doymuş sıvı olarak tekrar pompaya girer ve bu çevrim bu şekilde devam eder. Düşük sıcaklık çevriminde ise çalışma akışkanı 5 durumunda pompa 2'ye doymuş sıvı olarak girer ve 6 durumunda pompayı terk eder. 6 durumunda ORÇ için ön ısıtıcı kabul edilen elemene girerek yüksek sıcaklık çevriminin atık ısısını (kondenser 1'in attığı ısı) alır ve 7 durumunda evaporatör 2'ye girer. Evaporatör 2'de akışkan TLÇ çevriminde T_{ort} sıcaklığında çıkan jeotermal enerji kaynağından ısıyı çeker ve doymuş buhar fazında 8 durumunda evaporatörü terk eder. Türbine doymuş buhar olarak giren çalışma akışkanı türbini 9 durumunda kızgın buhar olarak terk eder. Kondenser 2 basıncına sahip akışkan 9 durumunda da kondenser 2'ye girer ve ısısını soğutma suyuna vererek yoğuşur ve 5 durumunda doymuş sıvı fazında kondenserden çıkar ve yeniden bu fazda pompaya girerken bu çevrim devam eder.

TLÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin yüksek sıcaklık çevriminde çalışma akışkanı evaporatöre sıkıştırılmış sıvı fazında girer ve doymuş sıvı fazında çıkar. Yani ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin yüksek sıcaklık çevriminden farklı olarak henüz evaporatör çıkışında buhar fazına geçmeyen çalışma akışkanıyla sıcak kaynak arasında daha iyi bir ısıl uyum elde edilir. TLÇ çevriminin ORÇ çevriminden bir diğer farkı TLÇ çevriminde genleştiriciye doymuş sıvı fazında giren çalışma akışkanı, genleştiricide çift fazlı (sıvı – buhar karışımı) olarak çalışır ve çalışma şartlarına bağlı olarak genleştiriciden doymuş sıvı – buhar karışımı, doymuş buhar ya da kızgın buhar olarak çıkar. Bu nedenle TLÇ döngüsünün ısı verim, ekserji verimi ve güç çıkışı açısından ORÇ döngüsünden daha yüksek değerlere ulaşması beklenir. Fakat elde edilecek değerler, sistemde kullanılacak çalışma akışkanına, evaporatör sıcaklığına ve kondenser sıcaklığına kısacası çalışma şartlarına göre değişkenlik gösterebilir.

3.1.2. Reküperatörlü Trilateral Çevrim – Organik Rankine Çevrim Birleşik Güç Sistemi (RTLÇ-ORÇ)



Şekil 3.3. RTLÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin tesisat şeması

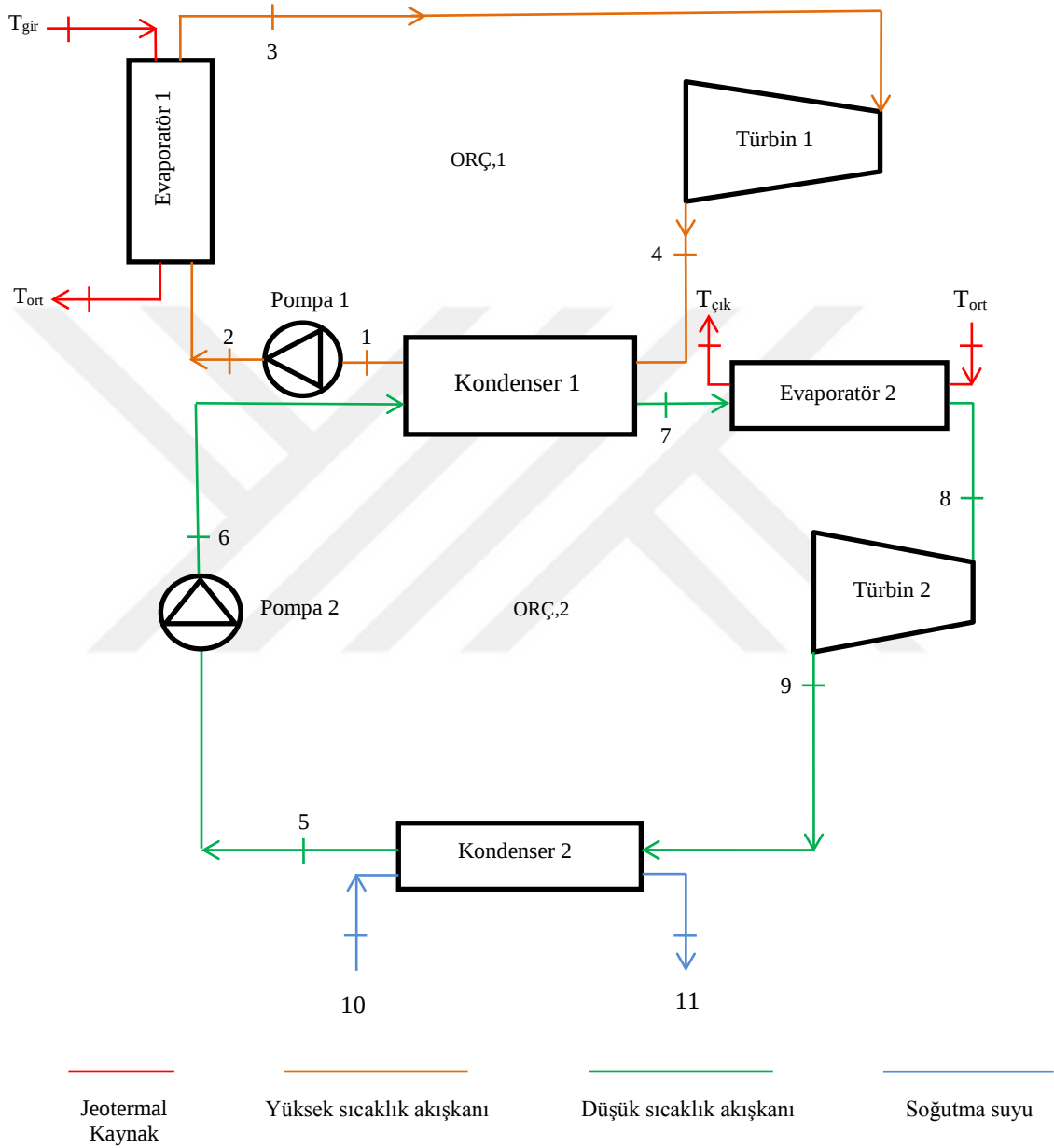


Şekil 3.4. RTLC-ORÇ birleşik güç sisteminin T-s diyagramı

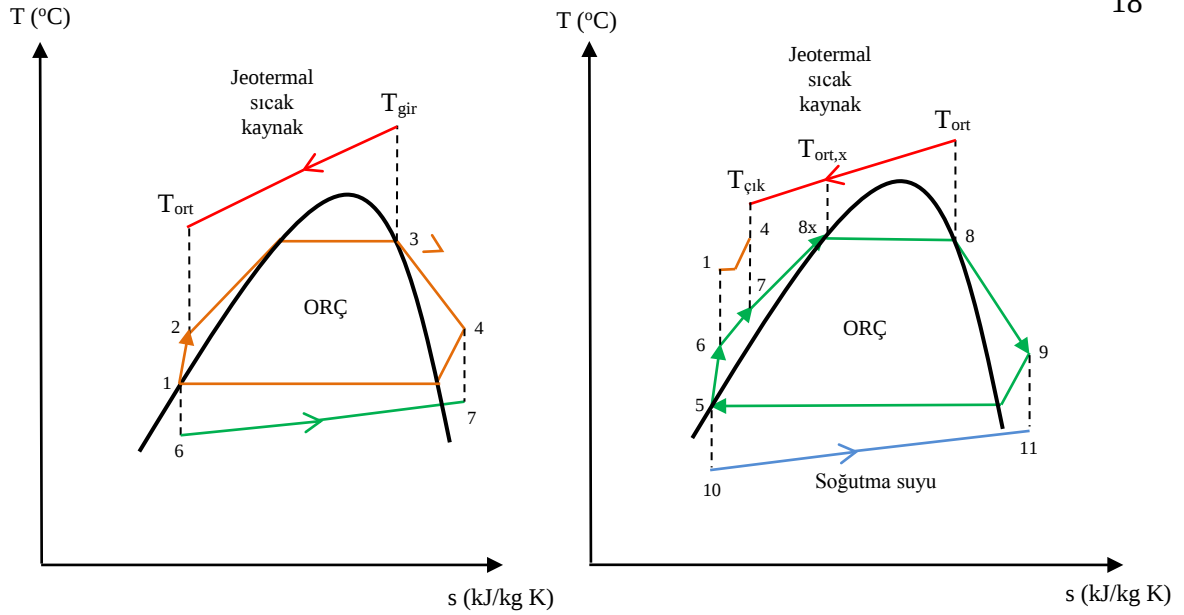
RTLC-ORÇ birleşik güç sisteminin çalışma prensibi TLÇ-ORÇ sisteminkine benzerdir. Tek fark; RTLC'nin genleştiricisinden yüksek sıcaklıkta çıkan akışkan kondensere girmeden önce reküperatörden geçirilerek pompa çıkışında düşük sıcaklığa sahip akışkana ısı enerjisini aktarır ve böylelikle hem yüksek sıcaklık çevrimi içerisinde ısı geri kazanımı sağlanır hem de ORÇ'nin evaporatörüne jeotermal akışkan daha yüksek sıcaklıkta gönderilir. Böylelikle RTLC'nin evaporatörü jeotermal akışkandan daha az ısı enerjisi çeker ve bu da sistemin ısı verimini artması beklenir.

RTLC-ORÇ birleşik güç sisteminin yüksek sıcaklık döngüsü olan RTLC çevriminde çalışma akışkanı, TLÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin yüksek sıcaklık çevrimi olan TLÇ'den farklı olarak genleştiriciden ORÇ çevrimindeki gibi kızgın buhar fazında çıkar. TLÇ'de ise akışkan, çalışma şartlarına bağlı olarak kızgın buhar, doymuş buhar veya doymuş sıvı – buhar karışımı olarak çıkmaktadır.

3.1.3. Organik Rankine Çevrim – Organik Rankine Çevrim Birleşik Güç Sistemi (ORÇ-ORÇ)



Şekil 3.5. ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin tesisat şeması



Şekil 3.6. ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin T-s diyagramı

ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin çalışma prensibi TLÇ-ORÇ sisteminkine benzerdir ve sistem elemanları da TLÇ-ORÇ ile aynıdır. Sadece ORÇ’de genleştirici yerine türbin kullanılır. ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminde yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık ORÇ döngülerinin çalışma akışkanları jeotermal kaynaktan ısı alırlar. Yüksek sıcaklık çevriminin kondenseri düşük sıcaklık çevriminde TLÇ-ORÇ ve RTLÇ-ORÇ sistemlerinde olduğu gibi bir ön ısıtıcı görevindedir. Bu ön ısıtıcıyla yüksek sıcaklık ORÇ kondensерinden düşük sıcaklık ORÇ çalışma akışkanı geçirilerek sıcak döngünün atık ısısı birleşik güç sisteminde geri kazanılır.

3.2. Birleşik Güç Sistemleri için Çalışma Akışkan Analizi

TLÇ-ORÇ, RTLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinin enerji analizleri için literatürden ve EES kütüphanesinden ORÇ'lerde kullanılan akışkanlar araştırıldı.

Birleşik güç sistemlerinde kullanılacak çalışma akışkanları ORÇ'lerde daha önce kullanılmış olan ve yeni nesil akışkanlar olmasına dikkate alınarak seçildi.

Rankine çevriminin çalışma akışkanı olan su, ıslak bir akışkan olarak sınıflandırılır. Islak akışkanlarda genleşme sırasında oluşabilecek bir yoğuşmayı önlemek için akışkanın aşırı ısınması gerekmektedir. ORÇ'ler için ise aşırı ısınmayı gerektirmeyen sırasıyla sıfır (izentropik) ya da pozitif (kuru) eğilimli akışkanlar sistemde kullanılabilir en ideal akışkanlardır (Şahin ve ark., 2018). Çünkü bu akışkanlar kullanıldığında türbinden çıkan akışkanın kuru kalması sağlanmış olur. Yani çalışma akışkanının türbinden doymuş buhar veya kızgın buhar durumunda çıkması sağlanmış olur.

Organik akışkanların suya göre kritik sıcaklık ve kritik basınç değerleri daha düşük, moleküler ağırlığı ise daha yüksektir. Bu nedenle ORÇ'lerde sistem elemanlarının korozyona uğrama ihtimali düşüktür (Kavasoğulları ve Cihan, 2015). Aynı zamanda ORÇ'lerde organik akışkanlar kullanıldığından çevrimin temiz ve daha verimli çalışması beklenmektedir. Isı kaynağı olarak atık ısıdan yararlanarak elektrik üretiminde ısının doğrudan atmosfere atılması önlenmiş olur. ORÇ'nin çevreci özelliği ve çalışma akışkanı olarak da kullanılan organik akışkanlar sayesinde de atık ısıdan yüksek verim ile yararlanmaya çalışılır.

Birleşik güç sistemlerinde kullanılacak organik akışkanların A34GS (güvenlik sınıfı) yani çabuk alev alıcılığı ve yanıcılığının yanı sıra ODP (ozon delme potansiyeli) ve GWP (küresel ısınma potansiyeli) değerleri düşük akışkanlar olmalıdır. Çabuk alev alıcılığı ve yanıcılığı düşük olmayan akışkanlar seçilirse sistemde güvenlik önlemlerine ihtiyaç duyulacaktır.

A34GS, ODP ve GWP değerlerinin organik akışkanlar için nasıl seçilmesi gerektiği aşağıda sırasıyla detaylı olarak açıklanmıştır.

3.2.1. A34GS'ye göre seçim nasıl yapılmalıdır?

Bu seçimi nasıl yapacağımız akışkanları zehirlilik ve yanıcılık açısından nasıl sınıflandırıldığını bilmek gerekmektedir.

3.2.1.1 Akışkanların zehirlilik açısından sınıflandırılması

Akışkanların güvenlik sınıflandırması zehirlilik açısından A ve B olarak iki grupta değerlendirilir.

- A sınıfı, derişimi 400 ppm'e eşit veya üzerinde olan akışkanları;
- B sınıfı ise derişimi 400 ppm'in üzerinde olan akışkanları gösterir.

3.2.1.2 Akışkanların yanıcılık açısından sınıflandırılması

Akışkanlar yanıcılık yönünden üç sınıfa ayrılır:

- Sınıf 1; 21 °C'de ve 101 kPa basınçta alevlenme testinde yanmayan akışkanlardır.
- Sınıf 2; 21 °C'de ve 101 kPa basınçta 0.10 kg/m³ yoğunlukta düşük yanıcılık gösteren ve 19 kJ/kg'dan düşük yanma ısısı üreten akışkanlardır.
- Sınıf 3; 21 °C'de ve 101 kPa basınçta 0.10 kg/m³ yoğunlukta yüksek yanıcılık gösteren ve 19 kJ/kg'a eşit veya bu değerden büyük yanma ısısı üreten akışkanlardır (Bulgurcu ve ark., 2007).

Çizelge 3.1. Akışkanların A34GS (güvenlik) sınıflandırılması (Bulgurcu ve ark., 2007)

Yanıcılık sınıfı		Zehirlilik sınıfı	
		Grup A	Grup B
		Düşük zehirlilik	Yüksek zehirlilik
3	Yüksek yanıcılık	A3: Metan, Propan, Bütan	B3
2	Düşük yanıcılık	A2: R142b, R152b	B2: Amonyak
1	Alevlenme özelliği yok	A1: R11, R12, R113, R114, R500, R502, R22, R134a	B1: R123

Yukardaki çizelgede zehirlilik ve yanıcılık sınıflarına göre akışkanların güvenlik sınıflandırılmasının nasıl yapıldığına ve bu sınıflara bazı örnek akışkanlara yer verilmiştir.

3.2.2. Akışkanın ODP değerinin seçimi

Kloroflorokarbon (CFC): CFC'ler ozon tabakası üzerinde en fazla tahribata sahip soğutucu akışkanlardır. Ayrıca GWP (küresel ısınma potansiyelleri) değerleri oldukça yüksektir.

CFC'lerin kullanımı için dünya genelinde bazı yasaklamalara gidilmiş ve önlemler alınmaktadır.

CFC'lerin önemli özellikleri şunlardır:

- Atmosferde 75-120 yıl arasında kimyasal yapıları bozulmadan kalabilirler.
- ODP (ozon delme potansiyel) değerleri yüksektir.
- Uygulamada en çok kullanılanları: R11, R12, R13, R114 ve R115'tir.

HCFC'ler (Hidrokloroflorokarbon) de klor atomu içerdiği için ozon tabakası ile reaksiyona girerler. Fakat HCFC'lerin yapısında hidrojen bulunduğu için kimyasal kararlılıkları oldukça zayıftır. Atmosferde yapıları bozulmadan uzun süre kalamazlar. HCFC'ler atmosfere doğru yükselirken yapılarındaki hidrojen havadaki su molekülleri ile reaksiyona girerek yapıları bozulur. HCFC'lerin ozonu delme potansiyelleri azdır.

HCFC'lerin önemli özellikleri şunlardır:

- Atmosferde kimyasal yapıları bozulmadan uzun süre kalmazlar (15-20 yıl).
- ODP değerleri düşüktür.
- Uygulamada en çok kullanılan HCFC'ler: R22, R124 ve R123'tür.

HFC'lerin (Hidroflorokarbon) yapısında klor atomu bulunmadığı için ozonu delme potansiyelleri sıfırdır. Yani ozon tabakası üzerine hiçbir olumsuz etkileri yoktur. Buna rağmen küresel ısınmaya biraz etki yaparlar (Koyun ve ark., 2005).

Bu çalışmada araştırmalar sonucu ODP ve GWP açısından HCFC veya HFC grubu akışkanlarından çalışma akışkanı seçimi uygun olacaktır. Ayrıca güvenlik sınıfı açısından da Çizelge 3.1'deki güvenlik sınıflandırılması dikkate alınarak zehirliliği düşük olan A grubu organik akışkanları arasından akışkan seçimi yapılmıştır. Güvenlik sınıfı açısından hem zehirliliği düşük hem de yanıcılığı düşük akışkanların seçilmesi amaçlanmıştır. Bu kriterler dikkate alınarak Çizelge 3.2'deki akışkanlar bu çalışmada seçilmiştir.

Çizelge 3.2. Birleşik güç sistemlerinde kullanılacak çalışma akışkanlarının termodinamik güvenlik özellikleri (Bao ve Zhao, 2013 ve Hoang, 2018)

Akışkan Grubu ve Adı	Molekül Ağırlığı (kg/kmol)	T _{kr} (°C)	P _{kr} (kPa)	A34GS	ODP	GWP	Tipi
Hidrokarbonlar							
Toluen	92.14	318.6	41.3	A3	0	3	Kuru
İsobutan (R-600a)	58.1	134.7	36.4	A3	0	20	Kuru
N-butan (R-600)	58.1	152	37.9	A3	0	20	Kuru
İsopentan (R601a)	72.15	187.2	33,7	A3	0	20	Kuru
N-pentan (R601)	72.14	196.5	33.6	A3	0	20	Kuru
Hidroflorokarbonlar							
R245fa	134.1	154	36.1	B1	0	1030	İzentropik
R365mfc	148.1	186.9	32.7	n.a	0	825	Kuru
R236ea	152.04	139.3	35	A1	0	710	Kuru
R152a	66.1	113.3	44.5	A2	0	124	Islak
SES36	184.9	177.6	28.49	A1	0	3710	Kuru

3.3. Birleşik Güç Sistemlerinin Enerji Analizleri

TLÇ-ORÇ, RTLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ sistemlerinin termodinamik analizi, termodinamiğin birinci yasası ile genel enerji denklemleri kullanılarak her üç çevrim için belli kabuller dahilinde Engineering Equations Solition (EES) programı kullanılarak yapıldı.

Araştırılan birleşik güç sistemlerinin termodinamik analizi için yapılan kabuller:

- 1- Sistemden çevreye ısı kaybı yoktur.
- 2- Sistem elemanlarındaki ve bağlantı borularındaki basınç kayıpları ihmal edilecektir.
- 3- Jeotermal kaynağın akış debisi 30 kg/s'dir.
- 4- Genleştirici / türbin ve pompaların izentropik verimi 0.85'tir (Li ve ark. 2019, Zeynali ve ark. 2019 ve Yu ve ark. 2018).
- 5- Düşük ve yüksek sıcaklık çevrimlerinin kondenser sıcaklıkları sırasıyla 30 °C ve 40 °C'dir.
- 6- Minimum sıcaklık fark noktasındaki (pinch noktası) sıcaklık farkı 5 °C'dir (Zhang ve ark. 2019, Sun ve ark. 2018 ve Sung ve ark. 2019).

3.3.1. Trilateral Çevrim – Organik Rankine Çevrim (TLÇ-ORÇ) birleşik güç sisteminin enerji analizi

Yukarıdaki kabuller doğrultusunda yüksek sıcaklık çevriminde dolaşan debi denklem (3.1) ile bulunur.

$$\dot{m}_{jeo} c_{jeo} (T_{gir} - T_{ort}) = \dot{m}_{TLÇ} (h_3 - h_2) \quad (3.1)$$

TLÇ'nin genleştiricisinde üretilen güç denklem (3.2), pompanın tükettiği güç ise denklem (3.3) ile elde edilir:

$$\dot{W}_{gen} = \dot{m}_{TLÇ} (h_3 - h_4) \quad (3.2)$$

$$\dot{W}_{p1} = \dot{m}_{TLÇ} (h_2 - h_1) \quad (3.3)$$

TLÇ genleştirici ve pompa çıkışının gerçek çıkış entalpi değerleri aşağıdaki denklemler ile hesaplanır:

$$h_4 = h_3 - (h_3 - h_{4s}) \eta_{gen} \quad (3.4)$$

$$h_2 = h_1 + (h_{2s} - h_1) / \eta_p \quad (3.5)$$

ORÇ’de dolaşan iş akışkanının debisi denklem (3.6)’dan bulunur.

$$\dot{m}_{jeo} c_{jeo} (T_{ort} - T_{ortx}) = \dot{m}_{ORÇ} (h_8 - h_{8x}) \quad (3.6)$$

Jeotermal akışkanın düşük sıcaklık çevriminden çıkış sıcaklığı ($T_{çık}$) ve ORÇ evaporatörüne çalışma akışkanının giriş entalpisi denklem (3.7-3.8) ile hesaplanır.

$$\dot{m}_{ORÇ} (h_8 - h_7) = \dot{m}_{jeo} c_{jeo} (T_{ort} - T_{çık}) \quad (3.7)$$

TLÇ çalışma akışkanından ORÇ çalışma akışkanına ısı geçişi

$$\dot{m}_{ORÇ} (h_7 - h_6) = \dot{m}_{TLÇ} (h_4 - h_1) \quad (3.8)$$

ORÇ türbin çıkışının gerçek entalpi değeri:

$$h_9 = h_8 - (h_8 - h_{9s}) \eta_t \quad (3.9)$$

ORÇ pompa çıkışının gerçek entalpi değeri:

$$h_6 = h_5 + (h_{6s} - h_5) / \eta_p \quad (3.10)$$

ile bulunur.

ORÇ türbininin ürettiği güç denklem (3.11), pompanın tükettiği güç ise denklem (3.12)'den elde edilir.

$$\dot{W}_t = \dot{m}_{ORÇ} (h_8 - h_9) \quad (3.11)$$

$$\dot{W}_{p2} = \dot{m}_{ORÇ} (h_6 - h_5) \quad (3.12)$$

TLÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin net güç çıktısı:

$$\dot{W}_{net} = (\dot{W}_{gen} + \dot{W}_t) - (\dot{W}_{p1} + \dot{W}_{p2}) \quad (3.13)$$

ile hesaplanır.

TLÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin jeotermal kaynaktan çektiği toplam ısı miktarı ise denklem (3.14) ile bulunur.

$$\dot{Q}_{gir} = \dot{m}_{jeo} c_{jeo} (T_{gir} - T_{çık}) \quad (3.14)$$

TLÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin ısı verimi:

$$\eta_{b,th} = \dot{W}_{net} / \dot{Q}_{gir} \quad (3.15)$$

şeklinde hesaplanır.

3.3.2. Reküperatörlü Trilateral Çevrim – Organik Rankine Çevrim (RTLÇ-ORÇ) birleşik güç sisteminin enerji analizi

Yapılan kabuller doğrultusunda yüksek sıcaklık çevriminde dolaşan debi denklem (3.16) ile bulunur.

$$\dot{m}_{jeo} C_{jeo} (T_{gir} - T_{ort}) = \dot{m}_{RTLÇ} (h_4 - h_3) \quad (3.16)$$

RTLÇ'nin genleştiricisinde üretilen güç denklem (3.17), pompanın tükettiği güç ise denklem (3.18) ile elde edilir:

$$\dot{W}_{gen} = \dot{m}_{RTLÇ} (h_4 - h_5) \quad (3.17)$$

$$\dot{W}_{p1} = \dot{m}_{RTLÇ} (h_2 - h_1) \quad (3.18)$$

RTLÇ genleştirici ve pompa çıkışının gerçek çıkış entalpi değerleri aşağıdaki denklemler ile hesaplanır:

$$h_5 = h_4 - (h_4 - h_{5s}) \eta_{gen} \quad (3.19)$$

$$h_2 = h_1 + (h_{2s} - h_1) / \eta_p \quad (3.20)$$

RTLÇ reküperatöründen çıkan kızgın buhar akışkanının entalpisi denklem (3.22)'den bulunur:

$$\Delta T_{rek} = T_3 - T_2 \quad (3.21)$$

$$h_6 = h_5 + (h_2 - h_3) \quad (3.22)$$

ORÇ'de dolaşan iş akışkanının debisi denklem (3.23) ile bulunur.

$$\dot{m}_{jeo} C_{jeo} (T_{ort} - T_{ortx}) = \dot{m}_{ORÇ} (h_{10} - h_{10x}) \quad (3.23)$$

Jeotermal akışkanın düşük sıcaklık çevriminden çıkış sıcaklığı ($T_{\text{çık}}$) ve ORÇ evaporatörüne çalışma akışkanının giriş entalpisi denklem (3.24-3.25) ile hesaplanır.

$$\dot{m}_{\text{ORÇ}} (h_{10} - h_9) = \dot{m}_{\text{jeo}} C_{\text{jeo}} (T_{\text{ort}} - T_{\text{çık}}) \quad (3.24)$$

$$\dot{m}_{\text{ORÇ}} (h_9 - h_8) = \dot{m}_{\text{RTLÇ}} (h_6 - h_1) \quad (3.25)$$

ORÇ türbini çıkışının gerçek entalpi değeri:

$$h_{11} = h_{10} - (h_{10} - h_{11s}) \eta_t \quad (3.26)$$

ORÇ pompa çıkışının gerçek entalpi değeri:

$$h_8 = h_7 + (h_{8s} - h_7) / \eta_p \quad (3.27)$$

ile bulunur.

ORÇ türbininin ürettiği güç denklem (3.28), pompanın tükettiği güç ise denklem (3.29)'den elde edilir.

$$\dot{W}_t = \dot{m}_{\text{ORÇ}} (h_{10} - h_{11}) \quad (3.28)$$

$$\dot{W}_{p2} = \dot{m}_{\text{ORÇ}} (h_8 - h_7) \quad (3.29)$$

RTLÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin net güç çıktısı:

$$\dot{W}_{\text{net}} = (\dot{W}_{\text{gen}} + \dot{W}_t) - (\dot{W}_{p1} + \dot{W}_{p2}) \quad (3.30)$$

ile hesaplanır.

RTLÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin jeotermal kaynaktan çektiği toplam ısı miktarı ise denklem (3.31) ile bulunur.

$$\dot{Q}_{\text{gir}} = \dot{m}_{\text{jeo}} C_{\text{jeo}} (T_{\text{gir}} - T_{\text{çık}}) \quad (3.31)$$

RTLÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin ısı verimi:

$$\eta_{b,th} = \dot{W}_{net} / \dot{Q}_{gir} \quad (3.32)$$

şeklinde hesaplanır.

3.3.3. Organik Rankine Çevrim – Organik Rankine Çevrim (ORÇ-ORÇ) birleşik güç sisteminin enerji analizi

Yapılan kabuller doğrultusunda ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin enerji analizi yapıldı. Buna göre yüksek sıcaklık çevriminde dolaşan debi denklem (3.33) ile bulunur.

$$\dot{m}_{jeo} c_{jeo} (T_{gir} - T_{ort}) = \dot{m}_{ORÇ,1} (h_3 - h_2) \quad (3.33)$$

Türbin 1’de üretilen güç denklem (3.34), pompa 1’in tükettiği güç ise denklem (3.35) ile elde edilir:

$$\dot{W}_{t1} = \dot{m}_{ORÇ,1} (h_3 - h_4) \quad (3.34)$$

$$\dot{W}_{p1} = \dot{m}_{ORÇ,1} (h_2 - h_1) \quad (3.35)$$

Türbin 1 ve pompa 1 çıkışının gerçek çıkış entalpi değerleri aşağıdaki denklemler ile hesaplanır:

$$h_4 = h_3 - (h_3 - h_{4s}) \eta_t \quad (3.36)$$

$$h_2 = h_1 + (h_{2s} - h_1) / \eta_p \quad (3.37)$$

ORÇ,1’de dolaşan iş akışkanının debisi denklem (3.38)’den bulunur.

$$\dot{m}_{jeo} c_{jeo} (T_{ort} - T_{ortx}) = \dot{m}_{ORÇ,1} (h_8 - h_{8x}) \quad (3.38)$$

Jeotermal akışkanın düşük sıcaklık çevriminden çıkış sıcaklığı ($T_{çık}$) ve evaporatör 2’ye çalışma akışkanının giriş entalpisi denklem (3.39–3.40) ile hesaplanır.

$$\dot{m}_{ORÇ,2} (h_8 - h_7) = \dot{m}_{jeo} c_{jeo} (T_{ort} - T_{çık}) \quad (3.39)$$

Yüksek sıcaklık çalışma akışkanından düşük sıcaklık çalışma akışkanına ısı geçişi denklem (3.40) kullanılarak h_7 değeri bulunur.

$$\dot{m}_{ORÇ,2} (h_7 - h_6) = \dot{m}_{ORÇ,1} (h_4 - h_1) \quad (3.40)$$

Türbin 2 ve pompa 2 çıkışının gerçek entalpi değeri sırasıyla denklem (3.41-3.42) ile hesaplanır.

$$h_9 = h_8 - (h_8 - h_{9s}) \eta_t \quad (3.41)$$

$$h_6 = h_5 + (h_{6s} - h_5) / \eta_p \quad (3.42)$$

Türbin 2'nin ürettiği güç denklem (3.43), pompanın tükettiği güç ise denklem (3.44)'ten elde edilir.

$$\dot{W}_{t2} = \dot{m}_{ORÇ,2} (h_8 - h_9) \quad (3.43)$$

$$\dot{W}_{p2} = \dot{m}_{ORÇ,2} (h_6 - h_5) \quad (3.44)$$

ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin net güç çıktısı:

$$\dot{W}_{net} = (\dot{W}_{t1} + \dot{W}_{t2}) - (\dot{W}_{p1} + \dot{W}_{p2}) \quad (3.45)$$

ile hesaplanır.

ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin jeotermal kaynaktan çektiği toplam ısı miktarı ise denklem (3.46) ile bulunur.

$$\dot{Q}_{gir} = \dot{m}_{jeo} c_{jeo} (T_{gir} - T_{çık}) \quad (3.46)$$

ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin ısı verimi:

$$\eta_{b,th} = \dot{W}_{net} / \dot{Q}_{gir} \quad (3.47)$$

şeklinde hesaplanır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

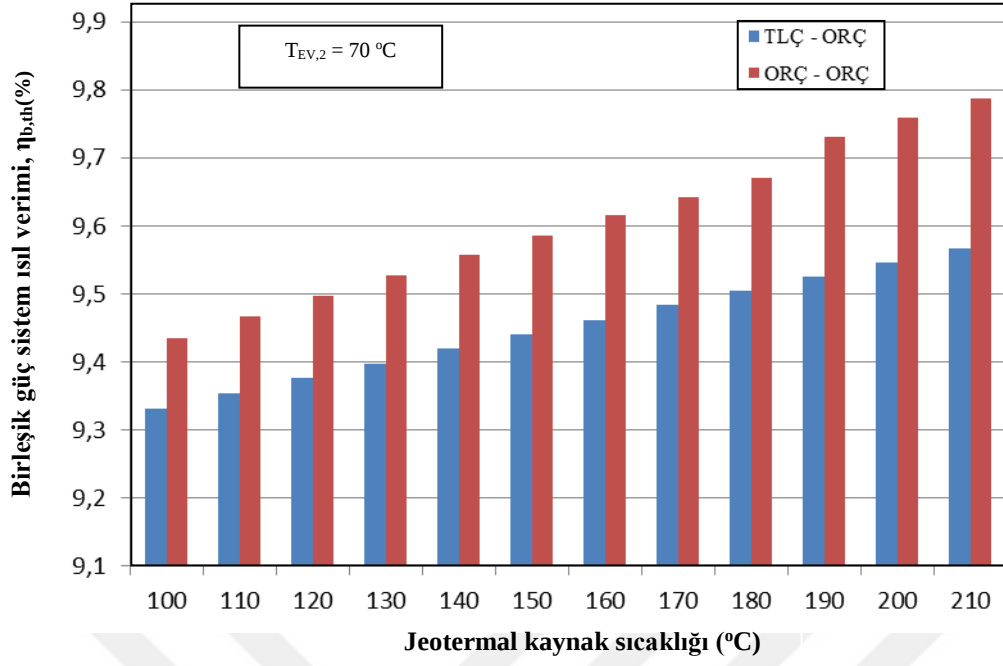
TLÇ-ORÇ, RTLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemleri için Çizelge 3.2’de seçilen çalışma akışkanları her bir birleşik güç sisteminin hem düşük hem de yüksek sıcaklık çevrimlerinde kullandı ve ısı verim ve net güç çıkış değerleri açısından karşılaştırıldı. Araştırma sonucu sistemin ısı verimini ve sistemden elde edilen net güç çıktısını maksimum yapan akışkan çiftleri farklı çalışma sıcaklıkları için belirlendi ve güç sistemlerinin karşılaştırmalı analizi yapıldı. Analiz sonuçları bu bölümde sunuldu.

4.1. TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ Birleşik Güç Sistemlerinin Farklı Jeotermal Kaynak Sıcaklıkları için Enerji Analizleri

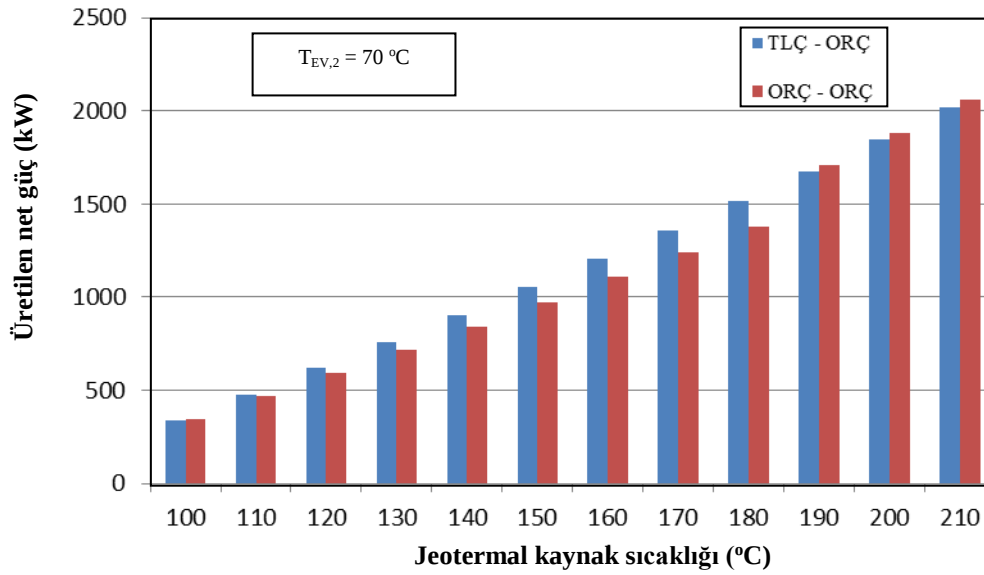
4.1.1. Jeotermal sıcaklığı 100 – 210 °C için birleşik güç sisteminin ısı verimini maksimum yapan akışkan çifti kullanıldığında sistemin performansının incelenmesi

İki birleşik güç sisteminin $T_{EV,2} = 70$ °C’de 100 – 210 °C sıcaklık aralığında farklı jeotermal enerji kaynak sıcaklık değerleri için ısı verimi maksimum yapan akışkan çiftleri kullanılarak enerji analizleri yapılmıştır. Jeotermal kaynak için alt sıcaklık değerinin 100 °C seçilmesinin nedeni evaporatör 2’de akışkanlar arası sıcaklık farkının minimum 5 °C’de tutulmasıdır.

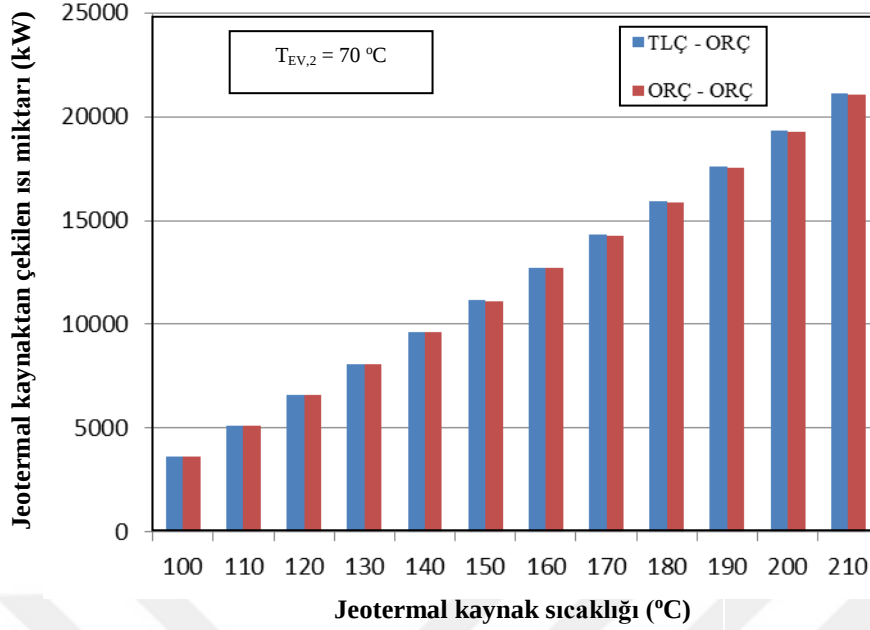
Jeotermal enerji kaynağının 100 – 210 °C sıcaklık aralığında ısı verim açısından her iki sistemde en iyi sonuçlar Toluen – Toluen akışkan çifti kullanıldığında elde edildiğinden bu akışkan çifti bu sıcaklık aralığında iki çevrim için de önerilir.



Şekil 4.1. Toluen – Toluen akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistem için 100 - 210 °C arasında değişen jeotermal kaynak sıcaklık değerlerinde ısı verim değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.2. Toluen – Toluen akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistem için 100 - 210 °C arasında değişen jeotermal kaynak sıcaklık değerlerinde net güç çıkış değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.3. Toluen – Toluen akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistem için 100 - 210 °C arasında değişen jeotermal kaynak sıcaklıkları değerlerinde jeotermal kaynaktan toplam çekilen ısı değerlerinin karşılaştırılması

$T_{EV,2} = 70$ °C’de ve 100 – 210 °C aralığında değişen jeotermal kaynak sıcaklık değerlerinde ısı verimi maksimum yapan Toluen – Toluen akışkan çifti kullanıldığında iki birleşik güç sistemin ısı verim karşılaştırılması Şekil 4.1’de, net güç karşılaştırılması Şekil 4.2’de ve jeotermal kaynaktan çekilen toplam ısı miktarı karşılaştırması da Şekil 4.3’te sunulmuştur.

Jeotermal kaynak sıcaklığı arttıkça iki birleşik güç sistemin de ısı verim değerlerinin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi şöyle açıklanabilir: Isıl verim denklemi dikkate alınacak olursa iki birleşik güç sistemin de $\dot{W}_{net}$ ve $\dot{Q}_{gir}$ değerleri arttığından (Şekil 4.2, 4.3) ve $\dot{W}_{net}$ ’teki artışın $\dot{Q}_{gir}$ ’e kıyasla iki birleşik güç sistemde de daha fazla olduğu görülmektedir. Bu nedenle de TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinin ısı verimleri artmaktadır. TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinde $T_{EV,2} = 70$ °C ve jeotermal kaynak sıcaklığının 100 °C’den 210 °C’ye arttığında Toluen – Toluen akışkan çifti kullanan sistemin ısı verimi TLÇ-ORÇ’de % 2,5 artarken, ORÇ-ORÇ’de % 3,7 artmaktadır.

Şekil 4.1’de çalışılan jeotermal sıcaklıklarında ORÇ-ORÇ’nin ısı verimi her zaman TLÇ-ORÇ’den fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedeni tüm sıcaklıklar için ORÇ-ORÇ’nin ürettiği güç değerinin jeotermal kaynaktan çektiği ısıya oranının az da olsa her zaman TLÇ-ORÇ’ninkine oranla daha yüksek olması ile açıklanabilir.

Şekil 4.2’de her iki birleşik güç sistemin de ürettiği net güç jeotermal kaynak sıcaklığı arttıkça arttığı görülmektedir. Bunun sebebi şöyle açıklanabilir jeotermal kaynağın artan sıcaklığıyla sistemlerin evaporatör 1 sıcaklıkları artar. Dolayısıyla genleştiriciye/türbine daha yüksek basınçta akışkan girer ve bu da genleştiriciden/türbinden elde edilen güç üretimini artırır böylece iki birleşik güç sistemde de net güç çıkış değerleri artar.

TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinde $T_{EV,2} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de jeotermal kaynak sıcaklığı $210\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığında Toluen – Toluen akışkan çiftiyle çalışıldığında elde edilen maksimum $\dot{W}_{net}$ değerleri sırasıyla; 2022 kW ve 2059 kW’tır.

Jeotermal kaynak sıcaklığı $100 - 210\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında artarken TLÇ-ORÇ’nin net gücü değeri % 494,3 ORÇ-ORÇ’nin net güç değeri ise % 499,2 artmaktadır.

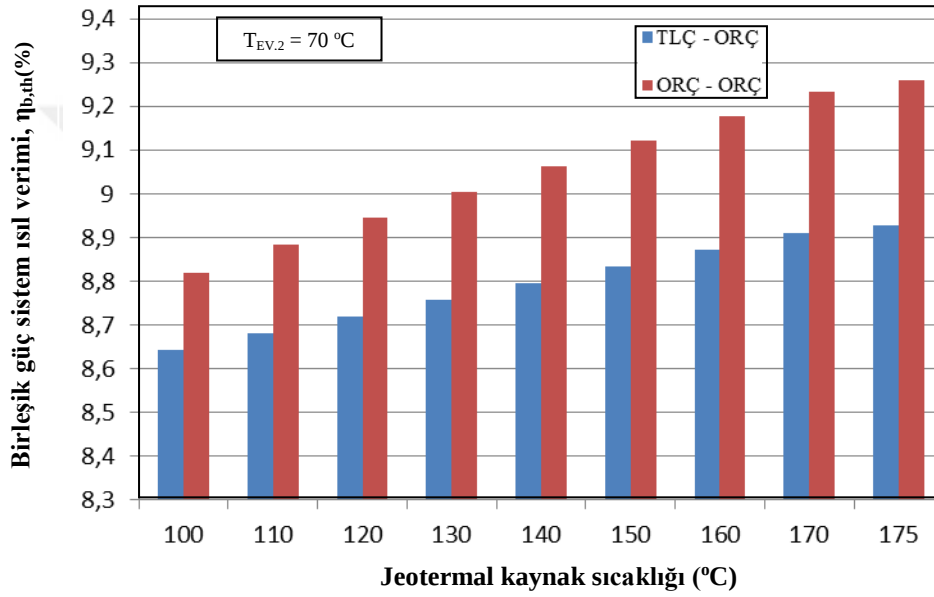
4.1.2. Jeotermal sıcaklığı $100 - 210\text{ }^{\circ}\text{C}$ için birleşik güç sisteminin net güç çıktısını maksimum yapan akışkan çifti kullanıldığında sistemin performansının incelenmesi

TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ’de jeotermal kaynak gibi yenilenebilir veya atık ısıdan faydalandığı için ısı veriminden ziyade kullanılan ısı enerjisinden üretilen net güç açısından sistemi ele almak daha önemlidir. Bu yüzden sistemin gücünü maksimum yapan akışkan çiftleri araştırıldı ve her bir sistem için belirlenen akışkan çiftleri kullanılarak analizler yapıldı.

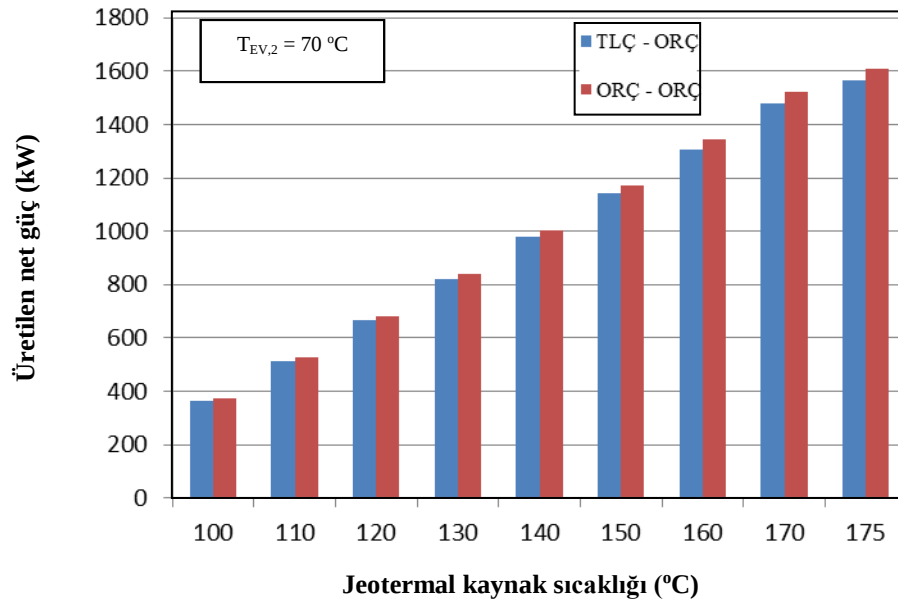
Jeotermal enerji kaynağının $100 - 210\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında her iki birleşik güç sistemin net güç çıkışını maksimum yapan farklı akışkan çiftlerinin olduğu belirlendi. Bu sıcaklıklar için önerilen akışkan çiftleri Çizelge 4.1 ile verilmiştir.

Çizelge 4.1. Jeotermal kaynağın 100 – 210 °C sıcaklıklarında net güç açısından iki birleşik güç sistem için önerilen akışkan çiftleri

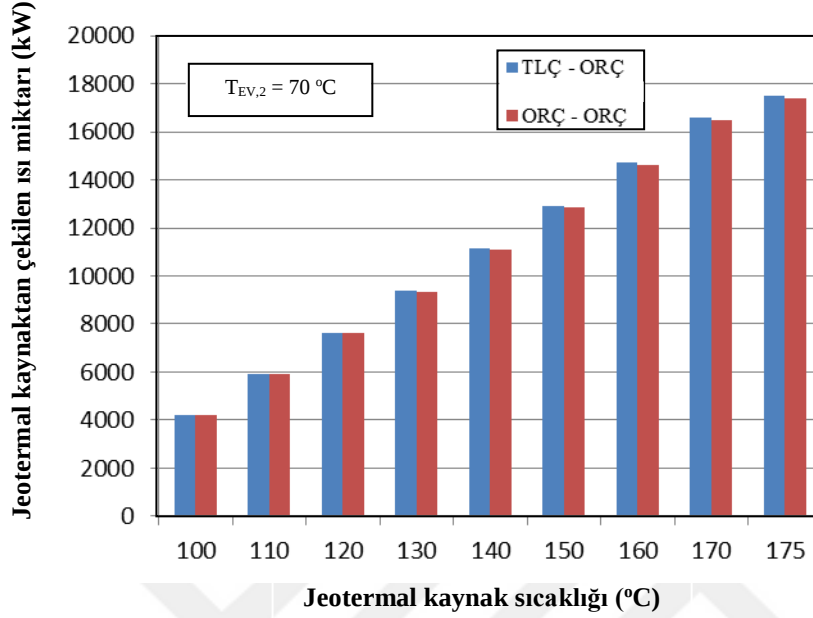
T_{jeo} (° C)	Akışkan Çifti	
	TLÇ-ORÇ	ORÇ-ORÇ
100 – 175	Toluen – R236ea	Toluen – R245a
180	Toluen – R600a	Toluen – R236ea
190	R601 – R245fa	Toluen – R600
200	R601 – R365mfc	Toluen – R245fa
210	Toluen – Toluen	Toluen – R365mfc



Şekil 4.4. Toluen – R236ea akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistem için 100 - 175 °C arasında değişen jeotermal kaynak sıcaklık değerlerinde ısı verim değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.5. Toluen – R236ea akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistem için 100 - 175 °C arasında değişen jeotermal kaynak sıcaklık değerlerinde net güç çıkış değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.6. Toluen – R236ea akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistem için 100 - 175 °C arasında değişen jeotermal kaynak sıcaklık değerlerinde jeotermal kaynaktan toplam çekilen ısı değerlerinin karşılaştırılması

Jeotermal kaynak sıcaklığının 100 – 175 °C aralığında sistemin net güç çıktısını maksimum yapan Toluen – R236ea akışkan çiftiyle çalışıldığında jeotermal kaynağın artan sıcaklığıyla iki birleşik güç sistemin ısı verimleri Şekil 4.4'te, güç çıktıları Şekil 4.5'te ve jeotermal kaynaktan çekilen toplam ısı miktarının karşılaştırılması ise Şekil 4.6'da sunulmuştur.

Jeotermal kaynak sıcaklığı arttıkça iki birleşik güç sistemin de ısı verim değerlerinin arttığı görülmektedir. Bunun sebebi şöyle açıklanabilir: Isıl verim denklemi dikkate alınacak olursa iki birleşik güç sistemin de $\dot{W}_{net}$ ve $\dot{Q}_{gir}$ değerleri arttığından (Şekil 4.5, 4.6) ve $\dot{W}_{net}$ 'teki artışın $\dot{Q}_{gir}$ 'e kıyasla iki birleşik güç sistemde de daha fazla olduğu görülmektedir. Bu nedenle de TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinin ısı verimleri jeotermal sıcaklık arttıkça artar. Örneğin; ORÇ-ORÇ sisteminde jeotermal akışkan sıcaklığı 170 °C'den 175 °C'ye arttığında $\dot{Q}_{gir}$ % 5,56 artarken, $\dot{W}_{net}$ % 5,92 artar. Böylelikle sistemin ısı verimi de % 0,29 artar. TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinde $T_{EV,2} = 70\text{ °C}$ ve jeotermal kaynak sıcaklığının

100 °C'den 175 °C'ye arttığında Toluen – R236ea akışkan çifti kullanan sistemin ısı verimi TLÇ-ORÇ'de % 3,32 artarken, ORÇ-ORÇ'de % 4,98 artmaktadır.

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin ısı verimi her zaman TLÇ-ORÇ'den daha fazladır. Bu şöyle açıklanabilir: Şekil 4.5 ve 4.6'ya bakıldığında ORÇ-ORÇ'nin jeotermal kaynaktan çektiği ısı girdisi TLÇ-ORÇ'ninkine eşit veya daha az olmasına karşın, üretilen gücün ise TLÇ-ORÇ'ninkinden her zaman fazla olduğu görülmektedir. Bu iki etki de ORÇ-ORÇ'nin ısı veriminin TLÇ-ORÇ'ninkinden daha fazla olmasını sağlamaktadır.

TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinde $T_{EV,2} = 70$ °C'de jeotermal kaynak sıcaklığı için 175 °C'de Toluen – R236ea akışkan çifti kullanıldığında elde edilen maksimum $\dot{W}_{net}$ değerleri sırasıyla; 1563 kW ve 1610 kW'tır.

$T_{EV,2} = 70$ °C'de jeotermal kaynak sıcaklığı 100 – 175 °C aralığında Toluen – R236ea akışkan çifti ile çalışıldığında yüksek ısı verim ve net güç çıkışı elde etmek amaçlanıyorsa ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin kullanılması önerilir.

Çizelge 4.2. $T_{EV,2} = 70$ °C ve 180 - 210 °C arasında değişen jeotermal kaynak sıcaklıkları için sistemin güç çıkışını maksimum yapan akışkan çiftleri ve birleşik güç sistemlerinin enerji analiz sonuçlarının karşılaştırılması

T_{jeo} (°C)	Akışkan Çifti		TLÇ-ORÇ		ORÇ-ORÇ	
	TLÇ - ORÇ	ORÇ - ORÇ	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
180	R601a – R600	Toluen – R600a	9,12	1573	9,278	1685
190	R601 – R245fa	Toluen – R245a	9,184	1802	9,49	1849
200	R601 – R365mfc	Toluen – R365mfc	9,205	1955	9,454	2001
210	Toluen – Toluen	Toluen - R601	9,567	2022	9,522	2158

Çizelge 4.2'ye bakıldığında çalışılan her bir jeotermal kaynak sıcaklığı için sistemin güç çıktısını maksimum yapan akışkan çiftinin farklı olduğu görülmektedir.

$T_{EV,2} = 70$ °C'de ORÇ-ORÇ sistemi ile 180, 190, 200 ve 210 °C jeotermal kaynak sıcaklıklarının her bir değerinde güç çıktısını maksimum yapan çalışma akışkan çiftleri kullanıldığında TLÇ-ORÇ sistemine göre daha yüksek net güç elde edildiği

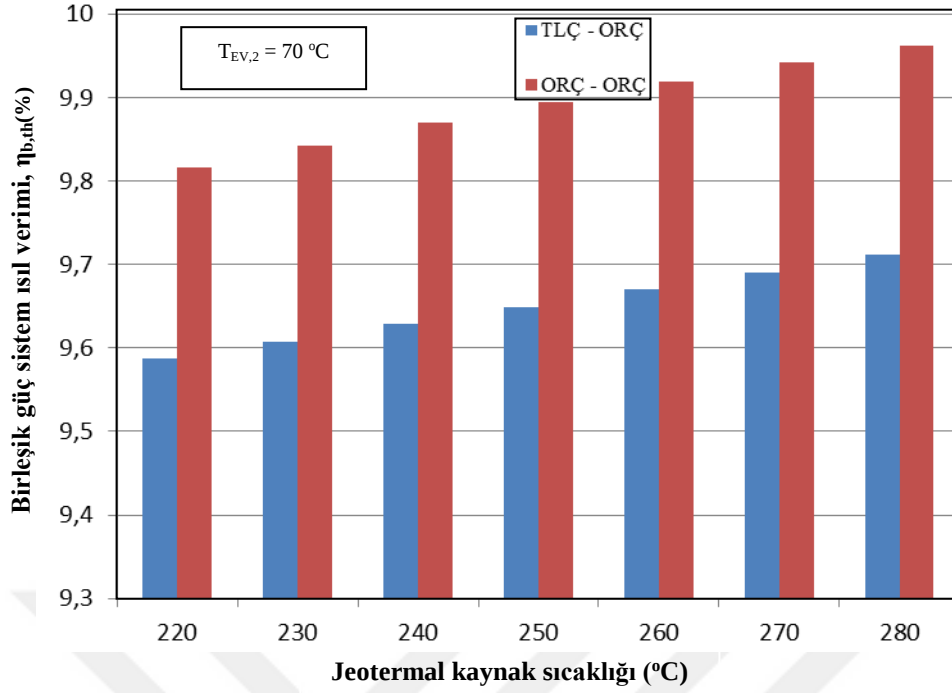
Çizelge 4.2’de görülmektedir. Bu yüzden 180, 190, 200 ve 210 °C jeotermal kaynak sıcaklık değerlerinde önerilen akışkan çiftlerini kullanan ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin kullanılması önerilir. Araştırılan sıcaklık aralığının en yüksek değeri olan 210 °C jeotermal sıcaklık ve $T_{EV,2} = 70$ °C çalışma şartlarında ORÇ-ORÇ’nin net güç değeri TLÇ - ORÇ sisteminden % 14,86 daha yüksektir.

Çizelge 4.2’de, 180 – 200 °C jeotermal sıcaklık aralığında ORÇ-ORÇ sisteminde üretilen güç, TLÇ-ORÇ sisteminkinden % 2,3 – 7,1 arasında daha iyi iken, 210 °C jeotermal kaynak sıcaklığı için TLÇ-ORÇ sisteminin ısı verimi çok az da (% 0,5) olsa daha yüksek olduğu belirlendi.

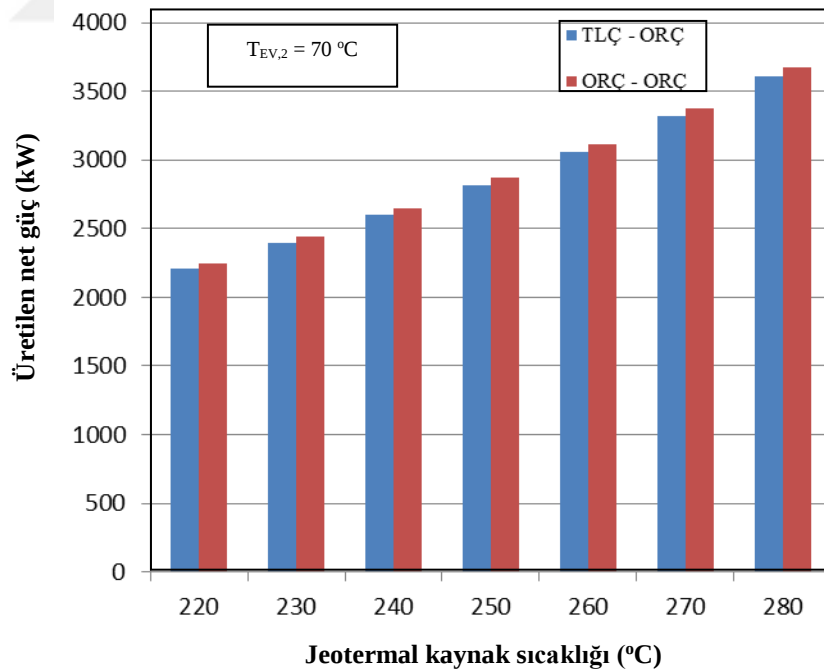
4.1.3. Jeotermal sıcaklığı 220 – 280 °C için birleşik güç sisteminin ısı verim ve net güç çıktısını maksimum yapan akışkan çifti kullanıldığında sistemin performansının incelenmesi

Jeotermal enerji kaynağının 220 – 280 °C sıcaklık aralığında iki birleşik güç sistem için de yüksek sıcaklık çevrimi için çalışma akışkanı seçilirken diğer dokuz akışkanın kritik sıcaklıklarının, bu sıcaklıkların altında olması nedeniyle iki birleşik çevrim için de yüksek sıcaklık akışkanı olarak Toluen seçildi. Düşük sıcaklık çevriminde ise Toluen akışkanı seçildiğinde en yüksek ısı verim ve güç değerlerine ulaşıldığından Toluen – Toluen akışkan çifti iki birleşik güç sisteminde de bu sıcaklık aralığında hem verim hem de güç açısından önerilir.

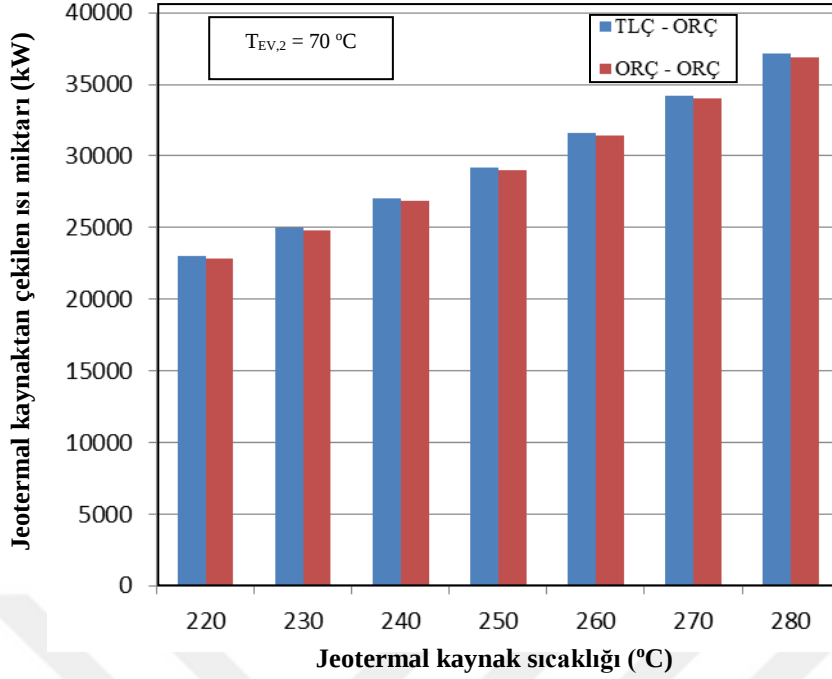
$T_{EV,2} = 70$ °C’de jeotermal kaynak sıcaklığının 220 – 280 °C sıcaklık aralığında değişen sıcaklık değerlerinde sistemin ısı verim ve güç değerlerini maksimum yapan Toluen – Toluen akışkan çifti kullanıldığında iki birleşik güç sistemde elde edilen analiz sonuçları şöyle özetlenebilir:



Şekil 4.7. 220 - 280 °C arasında değişen jeotermal kaynak sıcaklık değerlerinde önerilen Toluen – Toluen akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistem için ısı verim değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.8. 220 - 280 °C arasında değişen jeotermal kaynak sıcaklık değerlerinde önerilen Toluen – Toluen akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistem için net güç çıkış değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.9. 220 - 280 °C arasında değişen jeotermal kaynak sıcaklık değerlerinde önerilen Toluen – Toluen akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistemi için jeotermal kaynaktan toplam çekilen ısı değerlerinin karşılaştırılması

$T_{EV,2} = 70$ °C’de jeotermal kaynak sıcaklığının 220 °C’den 280 °C’ye artmasıyla iki birleşik güç sisteminin de ısı verim değerlerinin arttığı Şekil 4.7’de görülmektedir. Bunun sebebi daha önce açıklanmıştır (bk. Bölüm 4.1.1). Şekil 4.7’de çalışılan jeotermal kaynak sıcaklıkları için ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin ısı veriminin TLÇ-ORÇ sistemine göre % 2,4 – 2,6 aralığında daha yüksek olduğu da görülmektedir.

Şekil 4.8’e göre ORÇ-ORÇ’nin net gücü TLÇ-ORÇ’den çalışılan jeotermal sıcaklıkları için her zaman daha yüksektir. Aynı zamanda, şekilde her iki sistemin net gücünün de jeotermal sıcaklık arttıkça arttığı görülmektedir. ORÇ-ORÇ’nin net gücünün TLÇ-ORÇ’ninkinden % 1,5 – 1,9 aralığında daha yüksek olduğu belirlendi.

$T_{EV,2} = 70$ °C’de ve jeotermal kaynak sıcaklığının 220 °C’den 280 °C’ye arttığında TLÇ-ORÇ’nin net güç çıkış değeri % 88,6, ORÇ-ORÇ’nin ise % 87,9 artmaktadır.

TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinde $T_{EV,2} = 70$ °C ve jeotermal kaynak sıcaklığının 220 – 280 °C sıcaklık aralığında Toluen – Toluen akışkan çiftiyle çalışıldığında beklenenin tersine ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemi ile elde edilen ısı verim ve güç değerleri daha yüksek bulunmuştur.

4.2. TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ Birleşik Güç Sistemlerinin Düşük Sıcaklık Evaporatörünün Farklı Sıcaklıkları için Termodinamik Analizi

TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemleri ile jeotermal kaynakların ısı enerjilerini kullanarak güç üretmek amaçlandığı için hangi akışkan çifti kullanılırsa sistemin net güç çıktısının maksimum olacağı farklı çalışma şartları için araştırılarak belirlendi (EK-2 ve EK-3) ve sonuçlar grafikler ile karşılaştırmalı olarak sunuldu.

Düşük sıcaklık evaporatörünün çalışma aralığı belirlenirken evaporatör 2'den geçen akışkanlar arası minimum sıcaklık farkının 5 °C kabul edilmesi ve düşük sıcaklık çevriminin çalışma akışkanının kritik sıcaklığının aşılmaması göz önünde bulunduruldu.

Bu bölüm iki alt bölüm başlığı altında incelendi. İlk bölümde düşük sıcaklık evaporatör sıcaklığı 100 – 200 °C için sistemin gücünü maksimum yapan akışkan çifti kullanılarak karşılaştırma yapıldı ve sonuçları sunuldu. Araştırılan akışkan çiftleri arasından Toluen – Toluen akışkan çifti kullanıldığında hem sistemin ısı verimi hem de net güç çıktısı evaporatör 2 sıcaklığı 210 – 280 °C aralığında maksimum olduğu için ikinci bölümde bu akışkan çiftini kullanan sistemlerin karşılaştırmalı analiz sonuçları verildi.

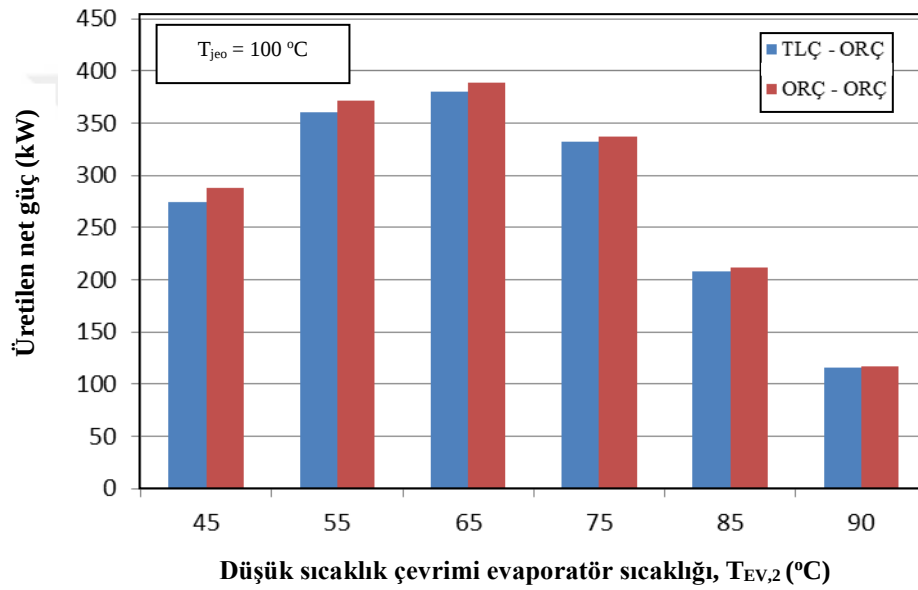
4.2.1. Düşük sıcaklık evaporatör sıcaklığı 100 – 200 °C için birleşik güç sistemlerinin güç performansının incelenmesi

Bu bölümde jeotermal kaynağın 100, 140, 180, 190 ve 200 °C sıcaklık değerleri için çalışılan evaporatör 2 sıcaklığı için iki birleşik güç sistem için net güç çıkış değerlerinin karşılaştırmalı enerji analizi yapıldı.

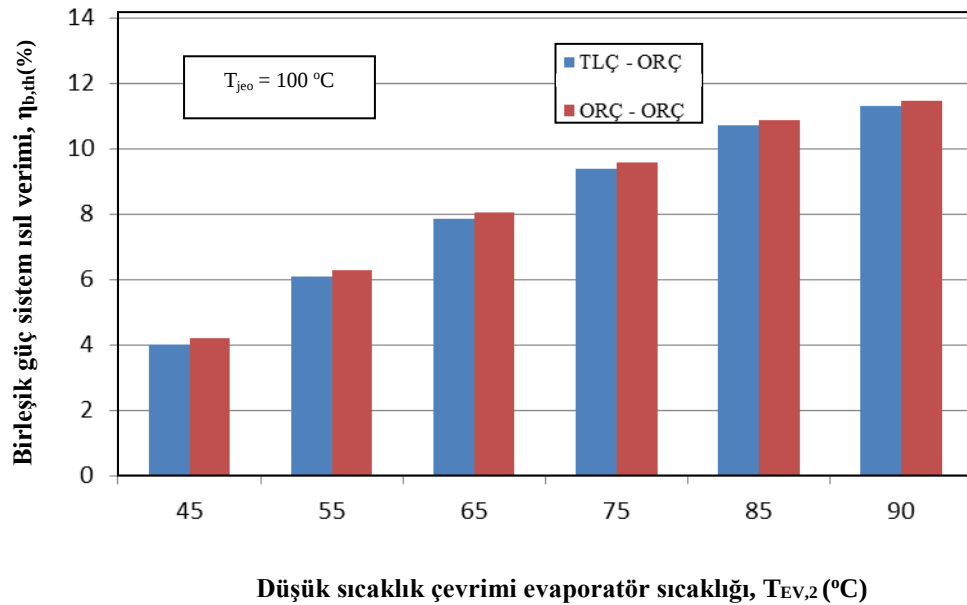
Çizelge 4.3'te jeotermal kaynağın bu çalışma sıcaklıkları için net güç çıkışını maksimum yapan akışkan çiftleri belirlendi.

Çizelge 4.3. Jeotermal kaynağın 100 – 210 °C sıcaklıklarında net güç açısından iki birleşik güç sistem için önerilen akışkan çiftleri

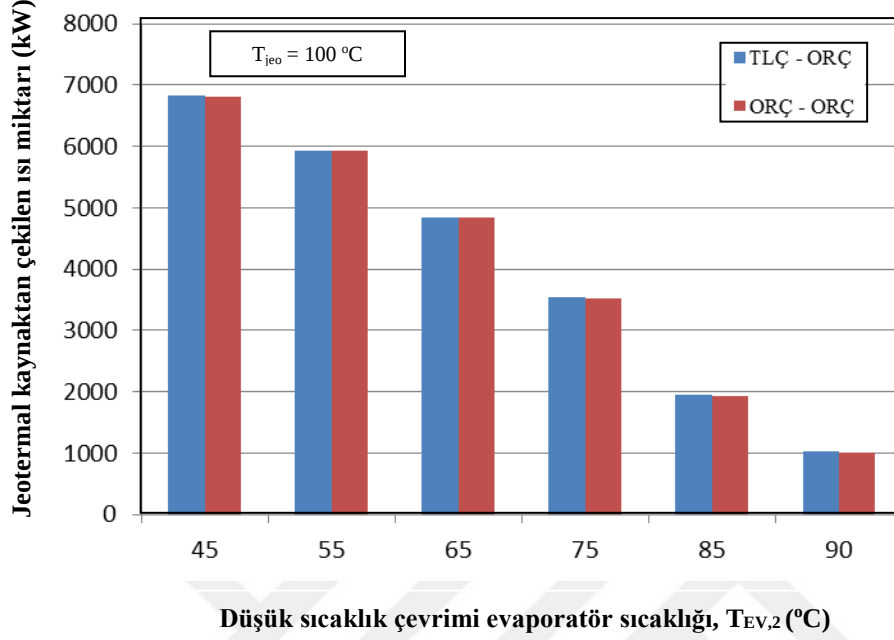
T_{jeo} (° C)	Akışkan Çifti	
	TLÇ-ORÇ	ORÇ-ORÇ
100	Toluen – R236ea	Toluen – R245a
140	Toluen – R236ea	Toluen – R236ea
180	Toluen – R600a	Toluen – R600
190	R601 – R245fa	Toluen – R245fa
200	R601 – R365mfc	Toluen – R365mfc
210	Toluen – Toluen	Toluen – R601



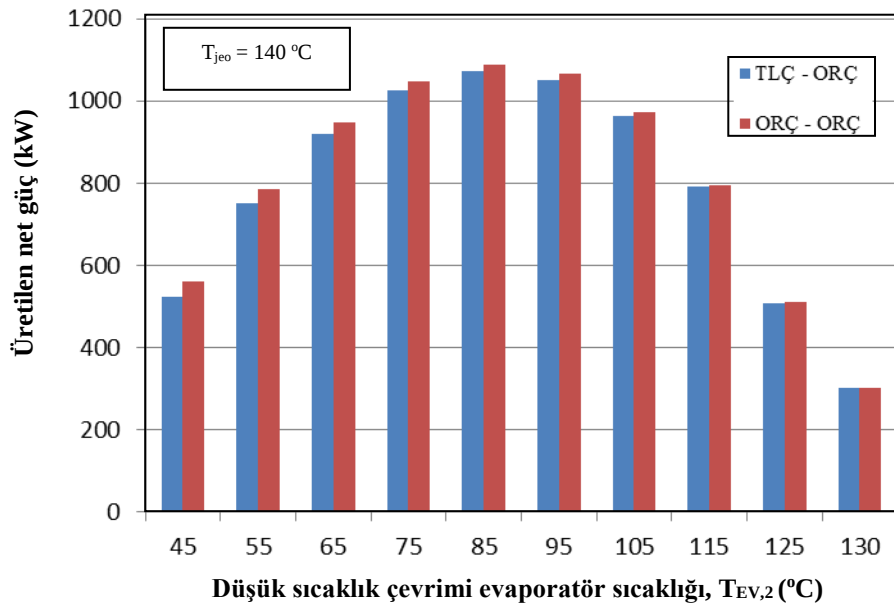
Şekil 4.10. 45 - 90 °C arasında değişen düşük sıcaklıklı çevrimi evaporatör sıcaklıkları için Toluen – R236ea akışkan çifti kullanan iki birleşik güç sistemin net güç çıkış değerlerinin karşılaştırılması



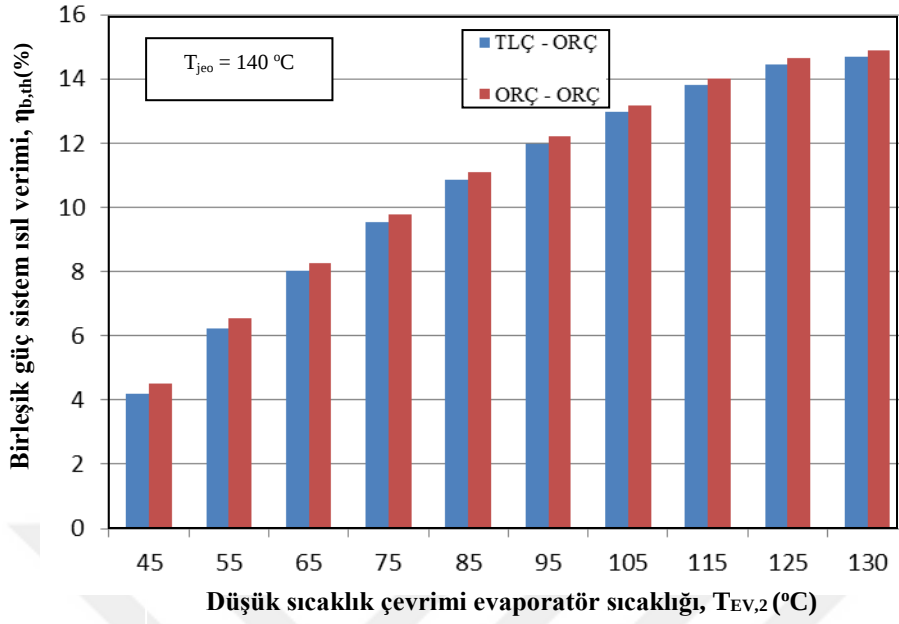
Şekil 4.11. 45 - 90 °C arasında değişen düşük sıcaklık çevrimi evaporatör sıcaklıkları için Toluen – R236ea akışkan çifti kullanan iki birleşik güç sistemin ısı verim değerlerinin karşılaştırılması



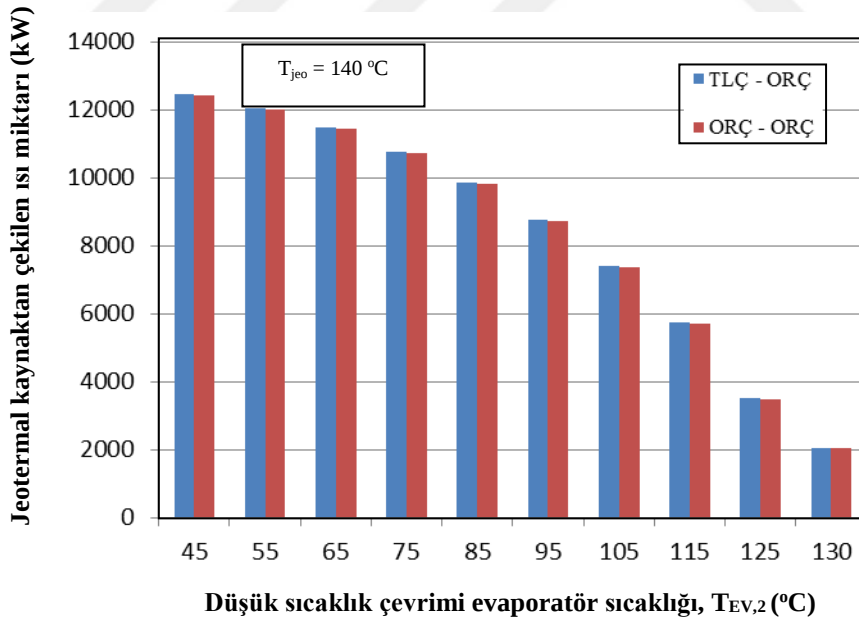
Şekil 4.12. 45 - 90 °C arasında değişen düşük sıcaklık çevrimi evaporatör sıcaklıkları için Toluen – R236ea akışkan çifti kullanan iki birleşik güç sistemi için jeotermal kaynaktan toplam çekilen ısı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.13. 45 - 130 °C arasında değişen düşük sıcaklık çevrimi evaporatör sıcaklıkları için Toluen – R236ea akışkan çifti kullanan iki birleşik güç sistemin net güç çıkış değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.14. 45 - 130 °C arasında değişen düşük sıcaklıklılık çevrimi evaporatör sıcaklıkları için Toluen – R236ea akışkan çifti kullanan iki birleşik güç sistemin ısı verim değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.15. 45 - 130 °C arasında değişen düşük sıcaklıklılık çevrimi evaporatör sıcaklıkları için Toluen – R236ea akışkan çifti kullanan iki birleşik güç sistem için jeotermal kaynaktan toplam çekilen ısı değerlerinin karşılaştırılması

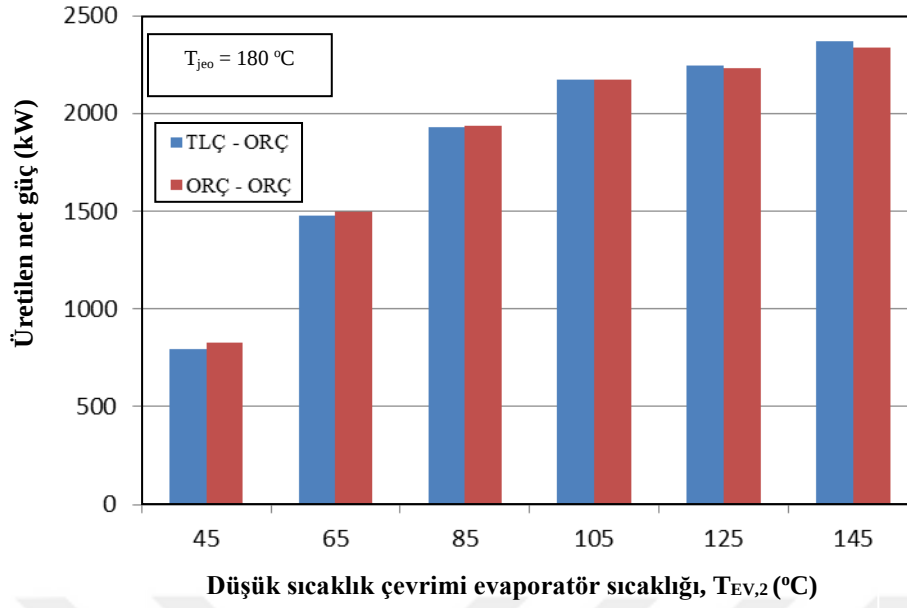
Jeotermal kaynak sıcaklığı 100 ve 140 °C için sistemin net güç çıktısını maksimum yapan akışkan çifti Toluen – R236ea olarak bulunmuştur.

Şekil 4.10’da $T_{jeo} = 100$ °C için ORÇ-ORÇ ve TLÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinin net güç çıkış değerlerinin $T_{EV,2} = 65$ °C’ye kadar artmış daha sonra azaldığı $T_{jeo} = 140$ °C için ise $T_{EV,2} = 85$ °C için net güç çıkışının maksimum olduğu Şekil 4.13’te görülmektedir. Bunun nedeni şöyle açıklanabilir: Evaporatör 2’nin sıcaklığı arttıkça sabit jeotermal kaynak sıcaklığı için sistemde dolaşan debi miktarı düşmektedir. Fakat belli bir evaporatör 2 sıcaklığına kadar genişletirici/türbin giriş-çıkış arasındaki entalpi farkı artmakta ve bu noktada entalpi farkındaki artış debideki düşüş miktarından daha yüksek olduğu için üretilen güç maksimum değere ulaşmaktadır. Daha sonra evaporatör 2 sıcaklığı arttıkça (jeotermal sıcaklığa yaklaştıkça) entalpi farkı düşmekte ve sistemde üretilen net güç miktarı da azalmaktadır.

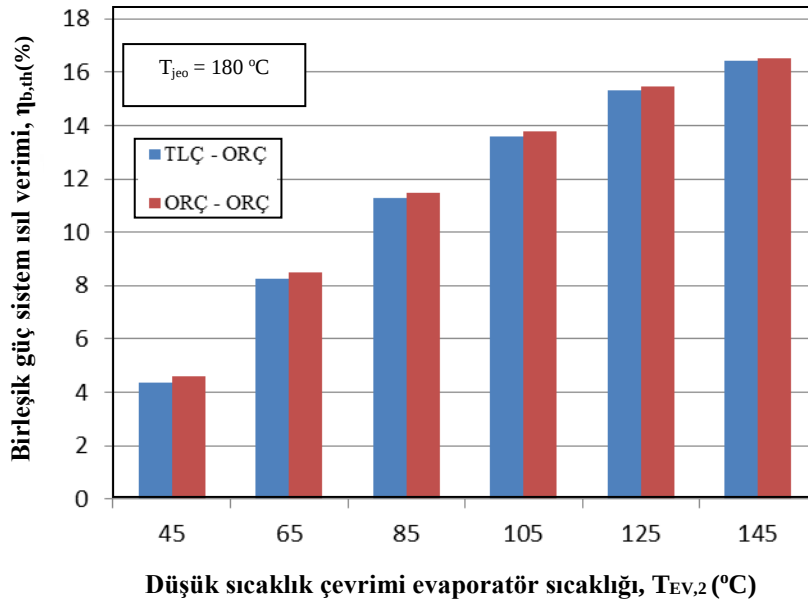
$T_{jeo} = 100$ °C için evaporatör 2 sıcaklığı 65 °C’de, $T_{jeo} = 140$ °C için ise evaporatör 2 sıcaklığı 85 °C’de çalıştırmak sistemden maksimum net güç üretmeyi sağlayacaktır. $T_{jeo} = 100$ °C için ORÇ-ORÇ’nin maksimum güç çıktısı TLÇ-ORÇ’den % 1,12 - 2,13 arasında daha fazladır.

Şekil 4.11 ve 4.14’e göre çalışılan evaporatör 2 sıcaklıkları için ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin ısıl veriminin TLÇ-ORÇ sisteminkinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni şöyle açıklanabilir; Şekil 4.10 ve 4.13’e bakıldığında ORÇ-ORÇ’nin ürettiği net güç TLÇ-ORÇ’den daha yüksektir. Sistemin jeotermal kaynaktan çektiği enerji ise daha düşüktür. Bu iki etki ile $T_{jeo} = 100$ °C için ORÇ-ORÇ’nin ısıl verimi TLÇ-ORÇ’ninkinden % 1,41 - 5,18 arasında, $T_{jeo} = 140$ °C için ise % 1,3 - 7,5 daha fazla olmaktadır.

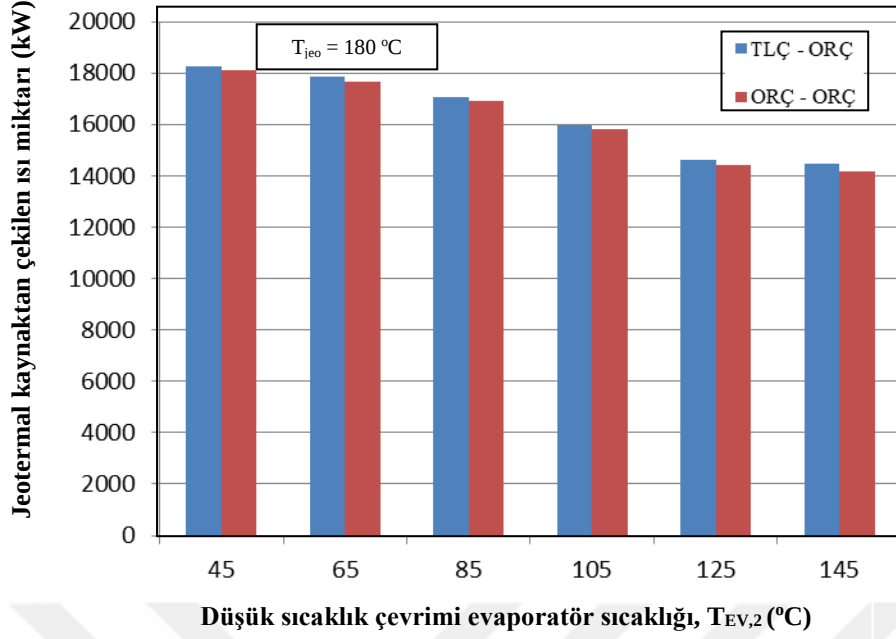
Şekil 4.12 ve 4.15’e göre jeotermal kaynak sıcaklığı arttıkça her iki çevrimde de jeotermal kaynaktan çekilen toplam ısı miktarı azalmaktadır. Bunun nedeni evaporatör 2 sıcaklığı arttıkça jeotermal akışkanın sistemden çıkış sıcaklığının artmasıdır. $\dot{Q}_{gir}$ formülü düşünüldüğünde T_{jeo} , $\dot{m}_{jeo}$ ve c_{jeo} değerleri sistemlerde sabit kalırken T_{cik} sürekli artmaktadır bu da $\dot{Q}_{gir}$ değerini düşürmektedir.



Şekil 4.16. 45 - 145 °C arasında değişen düşük sıcaklık çevrimi evaporatör sıcaklıkları için R601a – R600 akışkan çifti kullanan iki birleşik güç sistemin net güç çıkış değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.17. 45 - 145 °C arasında değişen düşük sıcaklık çevrimi evaporatör sıcaklıkları için R601a – R600 akışkan çifti kullanan iki birleşik güç sistemin ısı verim değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.18. 45 - 145 °C arasında değişen düşük sıcaklıklı çevrimi evaporatör sıcaklıkları için R601a – R600 akışkan çifti kullanan iki birleşik güç sistem için jeotermal kaynaktan toplam çekilen ısı değerlerinin karşılaştırılması

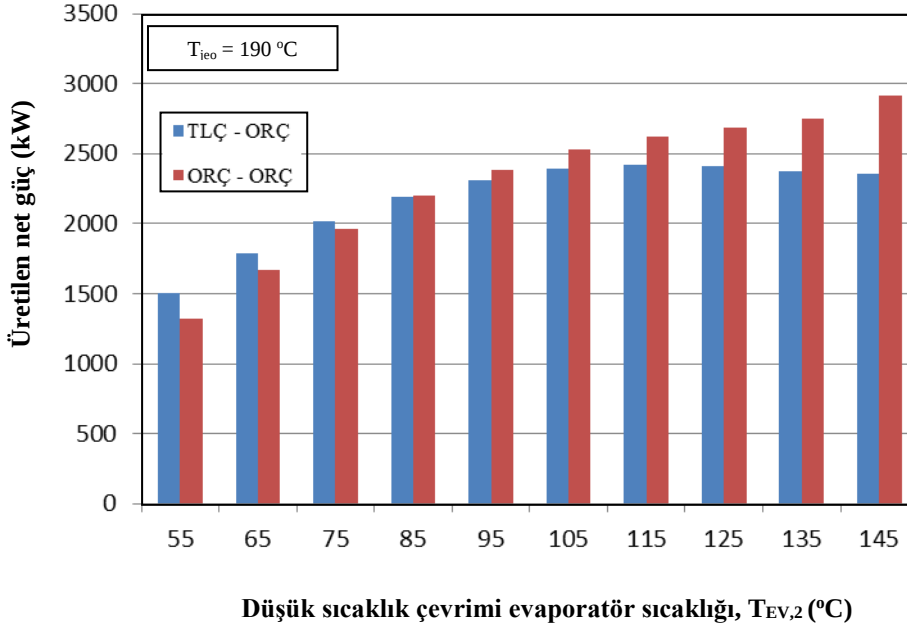
Jeotermal kaynak sıcaklığı 180 °C’de ve $T_{EV,2}$ ’nin 45 – 145 °C sıcaklık aralığında R601a – R600 akışkan çifti kullanıldığında $T_{EV,2}$ ’nin artan sıcaklığıyla sistemlerin ısı verimlerinin ve net güç çıktıların arttığı Şekil 4.16 ve 4.17’de görülmektedir. Bunun nedeni evaporatör 2 sıcaklığı arttıkça $\dot{Q}_{gir}$ değeri düşmekte ve $\dot{W}_{net}$ değeri ise artmaktadır, verim formülü düşünülecek olursa $\dot{W}_{net}$ ile verim doğru $\dot{Q}_{gir}$ ile ise ters orantılıdır. Dolayısıyla da verimin artması beklenir. $\dot{W}_{net}$ ’in artması da TLÇ-ORÇ’de ve ORÇ-ORÇ’de hem yüksek hem de düşük sıcaklık çevrim debilerinin azalmasına karşın türbindeki giriş-çıkış entalpi farkının oldukça fazla yükselmektedir. Bu da $\dot{W}_{net}$ ’i artırır. Şekil 4.16 incelendiğinde $T_{EV,2}$ sıcaklığı 85 °C’ye kadar ORÇ-ORÇ sistemi ile TLÇ-ORÇ’nikinden % 0,46 - 4,6 arasında daha fazla güç üretildiği, 105 °C’de iki sistemin güç değerlerinin hemen hemen aynı olduğu, 125 – 145 °C sıcaklık aralığında ise TLÇ-ORÇ ile ORÇ-ORÇ’den % 0,49 – 2,43 arasında daha fazla güç üretildiği görülmektedir.

Şekil 4.17’de çalışılan evaporatör 2 sıcaklıkları için ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin ısı verimi TLÇ-ORÇ sisteminden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni şöyle açıklanabilir; Şekil 4.16’ya göre evaporatör 2’nin sıcaklığı 105 °C’ye ulaşıncaya kadar ORÇ-ORÇ’nin ürettiği net güç TLÇ-ORÇ’den daha yüksek veya hemen hemen aynıdır. Buna karşın Şekil 4.18’e bakıldığında ise jeotermal kaynaktan

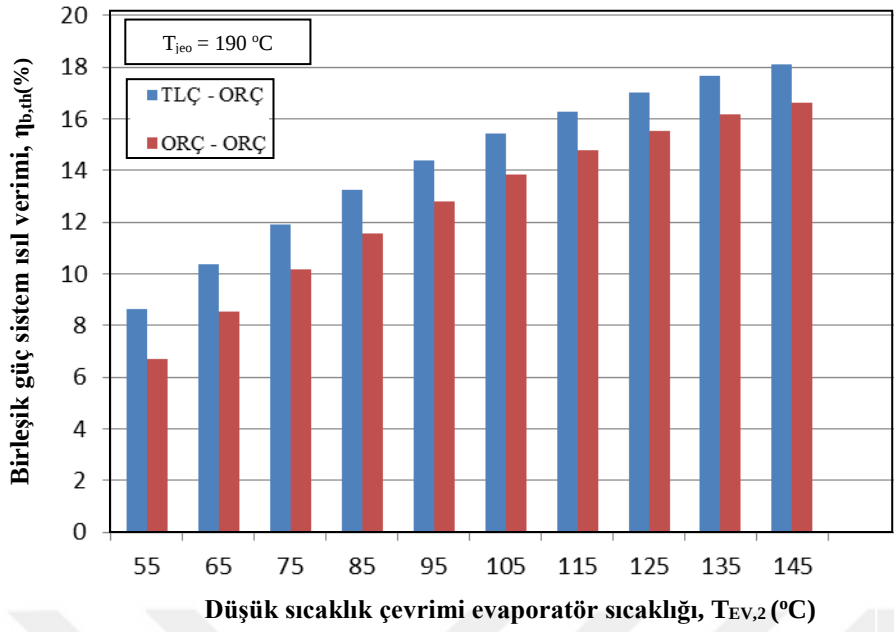
çekilen ısı daha düşüktür. Bu iki etki ile bu sıcaklığa kadar ORÇ-ORÇ'nin ısı veriminin yüksek çıkması beklenmektedir. Evaporatör 2'nin 125 – 145 °C sıcaklıkları için ise ORÇ-ORÇ'nin ısı veriminin daha yüksek çıkmasının nedeni ise bu sıcaklıklar için ORÇ-ORÇ'nin TLÇ-ORÇ'ye göre jeotermal kaynaktan çektiği ısı enerjisinin ürettiği net güce göre daha az olmasıdır. ORÇ-ORÇ ile bu çalışma sıcaklıklarında elde edilen ısı verim değerleri TLÇ-ORÇ'ye kıyasla % 0,7 – 5,6 arasında daha yüksektir.

Jeotermal kaynak sıcaklığı 180 °C'deyken evaporatör 2 sıcaklığı 45 °C'den 145 °C'ye kadar artarken ORÇ-ORÇ'nin ısı verim değeri % 4,6'dan % 16,5'e kadar artarken TLÇ-ORÇ'nin verim değeri ise % 4,3'ten % 16,4'e kadar artar.

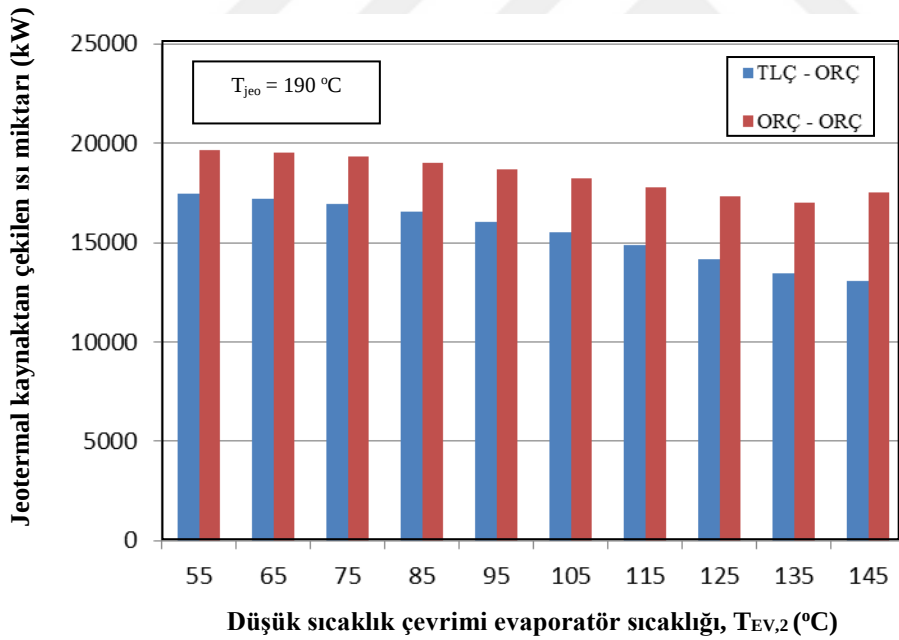
Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18'de $T_{EV,2}$ 'nin sıcaklık çalışma aralığının alt sınırının 45 °C olmasının sebebi evaporatör 2'den geçen akışkanlar arası sıcaklık farkının minimum 5 °C alınması, üst sınırının 145 °C olmasının nedeni ise düşük sıcaklık çevrimin çalışma akışkanı olan R600'ün kritik sıcaklığının 152 °C olmasıdır.



Şekil 4.19. 55 - 145 °C arasında değişen düşük sıcaklıklık çevrimi evaporatör sıcaklıkları için R601a – R245fa akışkan çifti kullanan iki birleşik güç sistemin net güç çıkış değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.20. 55 - 145 °C arasında değişen düşük sıcaklık çevrimi evaporatör sıcaklıkları için R601a – R245fa akışkan çifti kullanan iki birleşik güç sistemin ısı verim değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.21. 55 – 145 °C arasında değişen düşük sıcaklık çevrimi evaporatör sıcaklıkları için R601a – R245fa akışkan çifti kullanan iki birleşik güç sistem için jeotermal kaynaktan toplam çekilen ısı değerlerinin karşılaştırılması

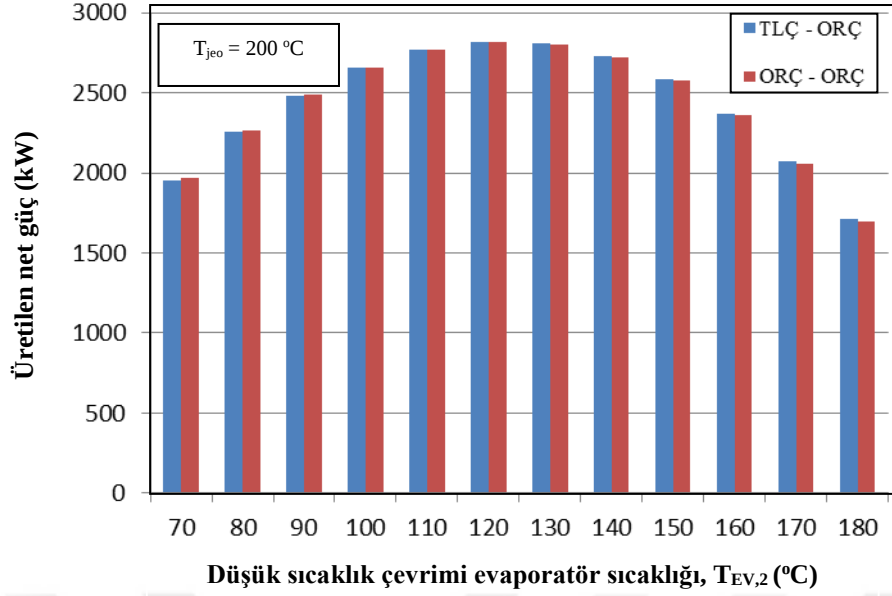
Jeotermal kaynak sıcaklığı 190 °C’de ve $T_{EV,2}$ ’nin 55 – 145 °C sıcaklık aralığında R601a – R245fa akışkan çifti kullanıldığında $T_{EV,2}$ ’nin artan sıcaklığıyla ORÇ-ORÇ’nin ısı veriminin ve net gücünün arttığı Şekil 4.19 ve 4.20’de

görülmektedir. Bunun nedeni daha önce açıklanmıştı. Şekil 4.19'a bakıldığında TLÇ-ORÇ'nin ürettiği net güç $T_{EV,2} = 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar arttığı ve $115 - 145\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkları için ise az da olsa düştüğü görülmektedir.

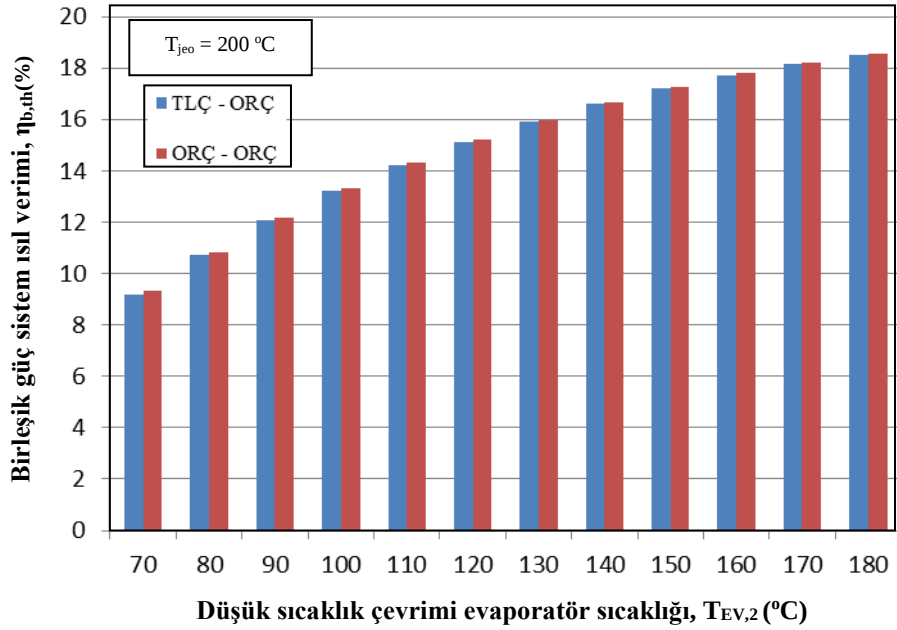
Şekil 4.21'de jeotermal kaynak sıcaklığı $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deyken evaporatör 2 sıcaklığı $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $145\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar artarken her iki çevrimde de jeotermal kaynaktan çekilen toplam ısı da giderek düşmüştür. Bunun nedeni daha önce açıklanmıştı.

Şekil 4.20'de çalışılan evaporatör 2 sıcaklıkları için TLÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin ısı verimi ORÇ-ORÇ sisteminden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni şöyle açıklanabilir; Şekil 4.19'a bakıldığında evaporatör 2'nin $55 - 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında TLÇ-ORÇ'nin ürettiği net güç ORÇ-ORÇ'den daha yüksektir. Evaporatör 2'nin $85 - 145\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklarında ise ORÇ-ORÇ ile elde edilen net güç değerleri daha yüksektir. Buna karşın Şekil 4.21'de ORÇ-ORÇ'nin jeotermal kaynaktan çektiği enerji tüm sıcaklıklar için TLÇ-ORÇ'den oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle de tüm evaporatör 2 sıcaklıkları için TLÇ-ORÇ sisteminin ısı verim değerleri daha yüksektir. Jeotermal kaynak sıcaklığı $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'deyken evaporatör 2 sıcaklığı $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den $145\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar artarken ORÇ-ORÇ'nin ısı verim değeri % 6,7'den % 16,6'ya kadar artarken TLÇ-ORÇ'nin verim değeri ise % 8,656'dan % 18,1'e kadar artar. Ayrıca jeotermal sıcaklık $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de $145\text{ }^{\circ}\text{C}$ evaporatör 2 sıcaklığı için ORÇ-ORÇ'nin ürettiği net güç % 23,5 daha fazladır.

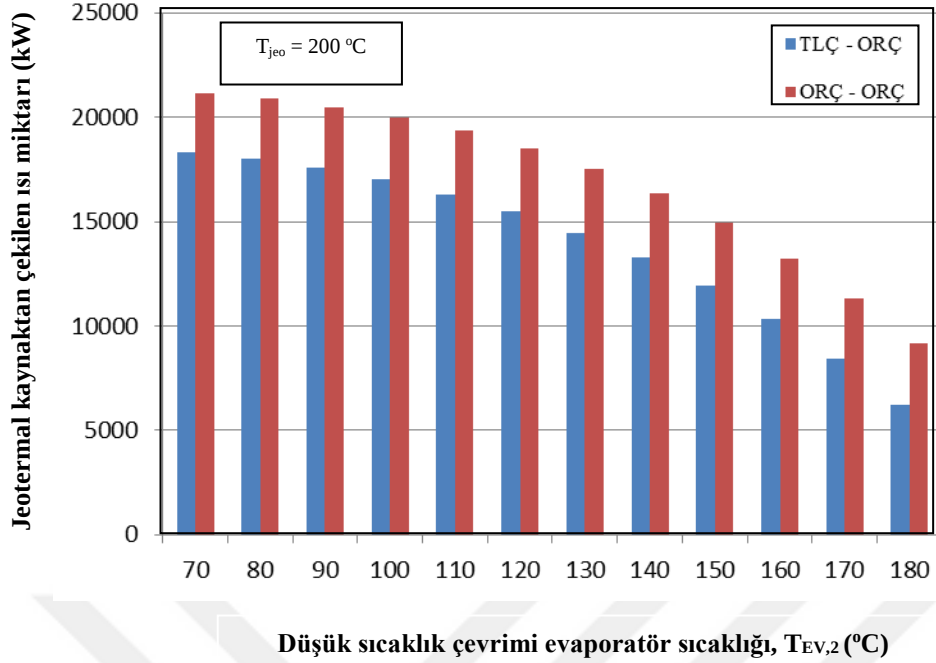
Şekil 4.19-21'de $T_{EV,2}$ 'nin sıcaklık çalışma aralığının alt sınırının $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmasının sebebi evaporatör 2'den geçen akışkanlar arası sıcaklık farkının minimum $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ alınması, üst sınırının $145\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmasının nedeni ise düşük sıcaklık çevrimin çalışma akışkanı olan R245fa'nın kritik sıcaklığının $154\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmasıdır.



Şekil 4.22. 70 - 185 arasında değişen düşük sıcaklıklık çevrimi evaporatör sıcaklıkları için R601 – R365mfc akışkan çifti kullanan iki birleşik güç sistemin net güç çıkış değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.23. 70 - 185 $^{\circ}\text{C}$ arasında değişen düşük sıcaklıklık çevrimi evaporatör sıcaklıkları için R601 – R365mfc akışkan çifti kullanan iki birleşik güç sistemin ısı verim değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.24. 70 - 185 °C arasında değişen düşük sıcaklık çevrimi evaporatör sıcaklıkları için R601 – R365mfc akışkan çifti kullanan iki birleşik güç sistem için jeotermal kaynaktan toplam çekilen ısı değerlerinin karşılaştırılması

Jeotermal kaynak sıcaklığı 200 °C için ve $T_{EV,2}$ 'nin 70 – 180 °C sıcaklık aralığında sistemin net güç çıkışını maksimum yapan akışkan çifti R601 – R365mfc olarak bulunmuştur. Şekil 4.22'de jeotermal sıcaklık 200 °C'deyken çalışılan evaporatör 2 sıcaklıkları için ORÇ-ORÇ ve TLÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinin net güç çıkış değerlerinin $T_{EV,2} = 120$ °C'ye kadar artmış daha sonra azalmıştır. Bunun nedeni daha önce Şekil 4.10'da açıklanmıştı. Şekil 4.22'ye bakıldığında evaporatör 2'nin 70 – 100 °C sıcaklık aralığında ORÇ-ORÇ'nin ürettiği net güç TLÇ-ORÇ'den daha yüksek, 110 °C'de iki sistemin güç değerleri eşit, 120 – 180 °C sıcaklık aralığında ise TLÇ-ORÇ sistemi ile ORÇ-ORÇ'den % 0,14 – 1 aralığında daha fazla güç çıkışı elde edilmiştir. Ayrıca 120 °C evaporatör 2 sıcaklığında her iki birleşik güç sistem ile maksimumu net güç çıkış değerleri elde edilmektedir.

Şekil 4.23'te çalışılan evaporatör 2 sıcaklıkları için ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin ısıl verimi TLÇ-ORÇ sisteminden % 0,32 - 1,22 aralığında daha yüksek olduğu görülmektedir.

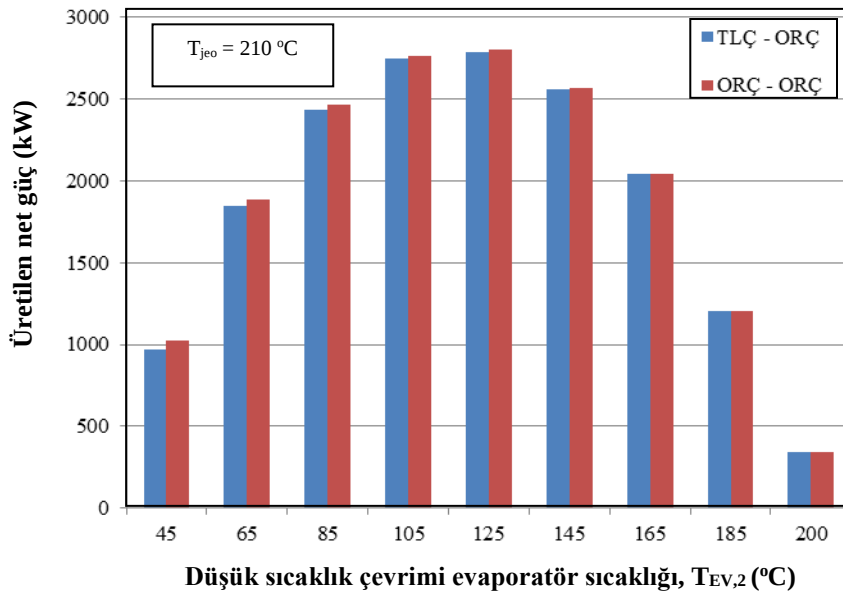
Şekil 4.24'te jeotermal kaynak sıcaklığı 200 °C'deyken evaporatör 2 sıcaklığı 70 °C'den 180 °C'ye kadar artarken her iki çevrimde de jeotermal kaynaktan çekilen toplam ısı azalmaktadır bunun nedeni jeotermal akışkanın sıcaklığı sabitken evaporatör

2 sıcaklığının artması ve dolayısıyla jeotermal akışkanın sistemden çıkış sıcaklığının artmasıdır. $\dot{Q}_{gir}$ formülü düşünüldüğünde T_{jeo} , $\dot{m}_{jeo}$ ve c_{jeo} değerleri sistemlerde sabit kalırken $T_{çık}$ sürekli artmaktadır bu da $\dot{Q}_{gir}$ ile ters orantılı olduğundan çekilen toplam ısı düşmektedir.

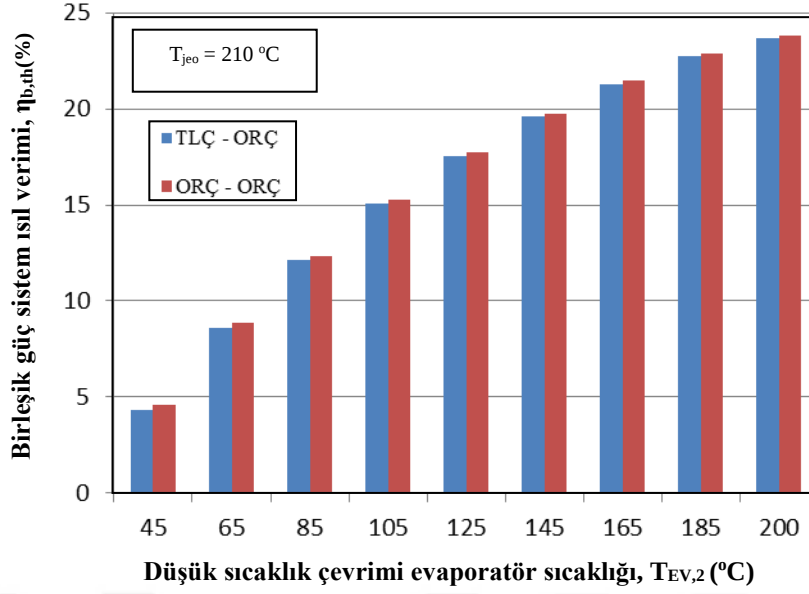
Şekil 4.22-24'te $T_{EV,2}$ 'nin sıcaklık çalışma aralığının alt sınırının 70 °C olmasının sebebi evaporatör 2'den geçen akışkanlar arası sıcaklık farkının minimum 5 °C alınması, üst sınırının 180 °C olmasının nedeni ise düşük sıcaklık çevrimin çalışma akışkanı olan R365mfc'nin kritik sıcaklığının 186,9 °C olmasıdır.

4.2.2. Düşük sıcaklık evaporatör sıcaklığı 210 – 280 °C için birleşik güç sistemlerinin enerji analizi

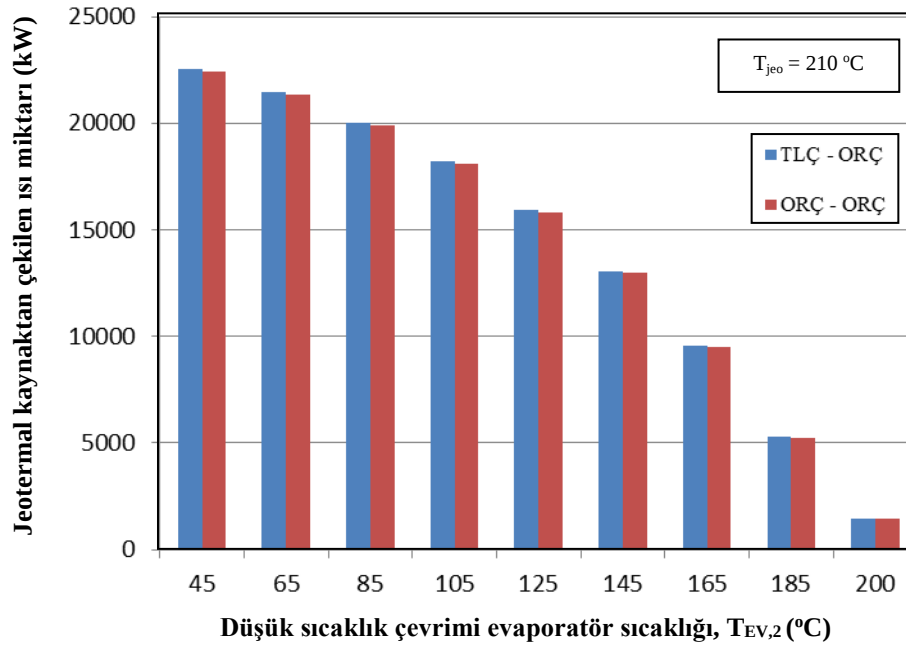
Jeotermal kaynağın 210 – 280 °C sıcaklık değerleri için Toluen – Toluen akışkan çifti kullanıldığında her iki sistemde de hem maksimum güç çıkışı hem de maksimum ısı verimin elde edildiği belirlendi.



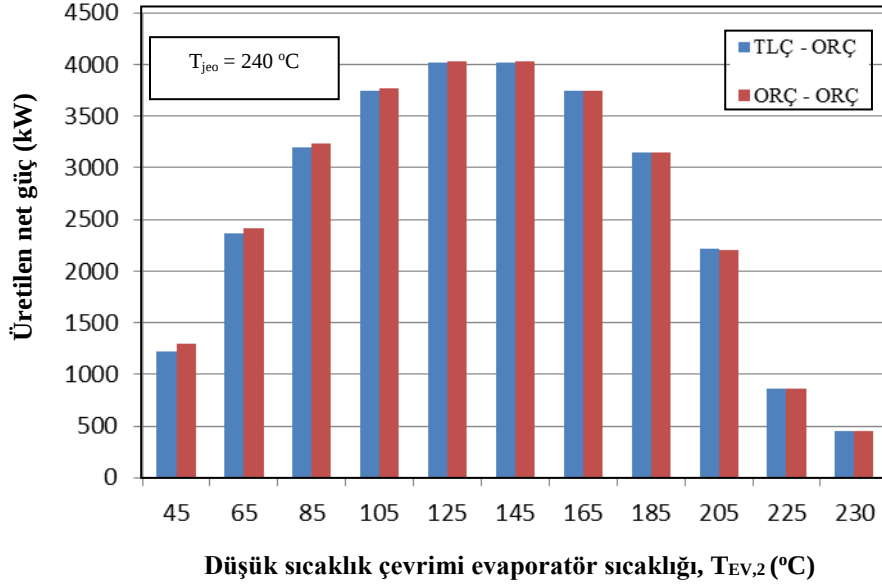
Şekil 4.25. 45 - 200 °C arasında değişen düşük sıcaklıklı evaporatör sıcaklık değerlerinde güç için önerilen Toluen – Toluen akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistem için net güç çıkış değerlerinin karşılaştırılması



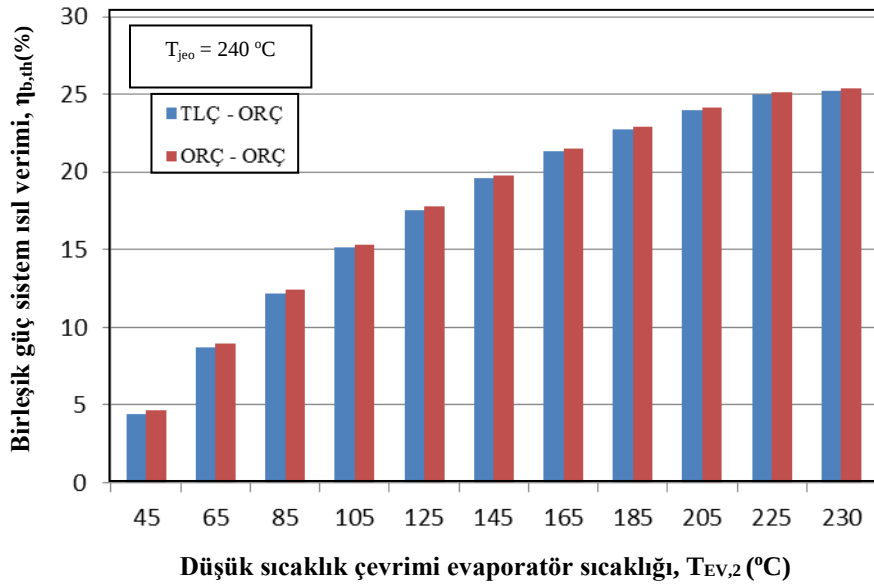
Şekil 4.26. 45 - 200 °C arasında değişen düşük sıcaklıklı evaporatör sıcaklık değerlerinde güç için önerilen Toluen – Toluen akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistem için ısı verim değerlerinin karşılaştırılması



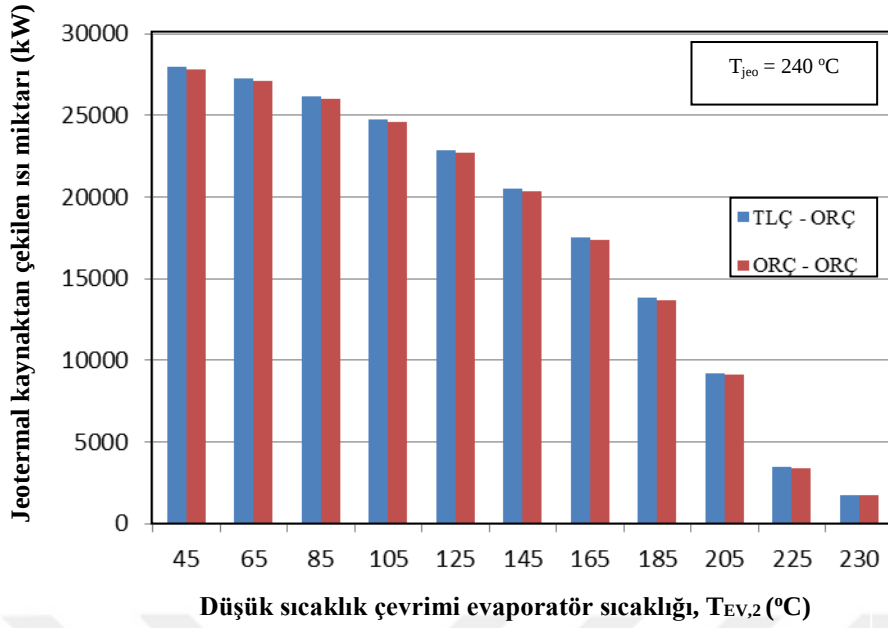
Şekil 4.27. 45 - 200 °C arasında değişen düşük sıcaklıklı evaporatör sıcaklık değerlerinde güç için önerilen Toluen – Toluen akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistem için jeotermal kaynaktan toplam çekilen ısı değerlerinin karşılaştırılması



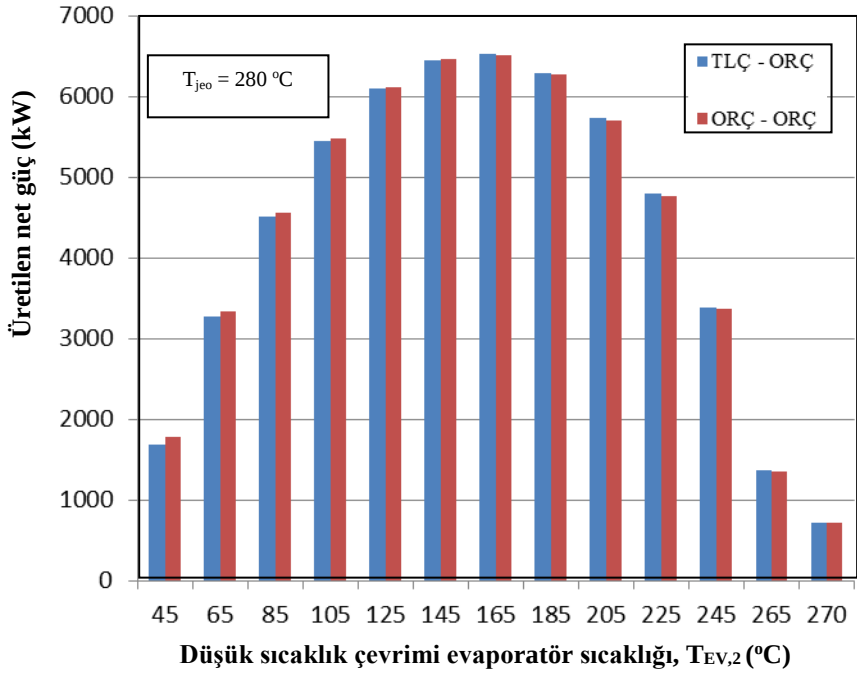
Şekil 4.28. $T_{gir} = 240\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ve 45 - 230 $^{\circ}\text{C}$ arasında değişen düşük sıcaklıklı evaporatör sıcaklık değerlerinde önerilen Toluen – Toluen akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistem için net güç çıkış değerlerinin karşılaştırılması



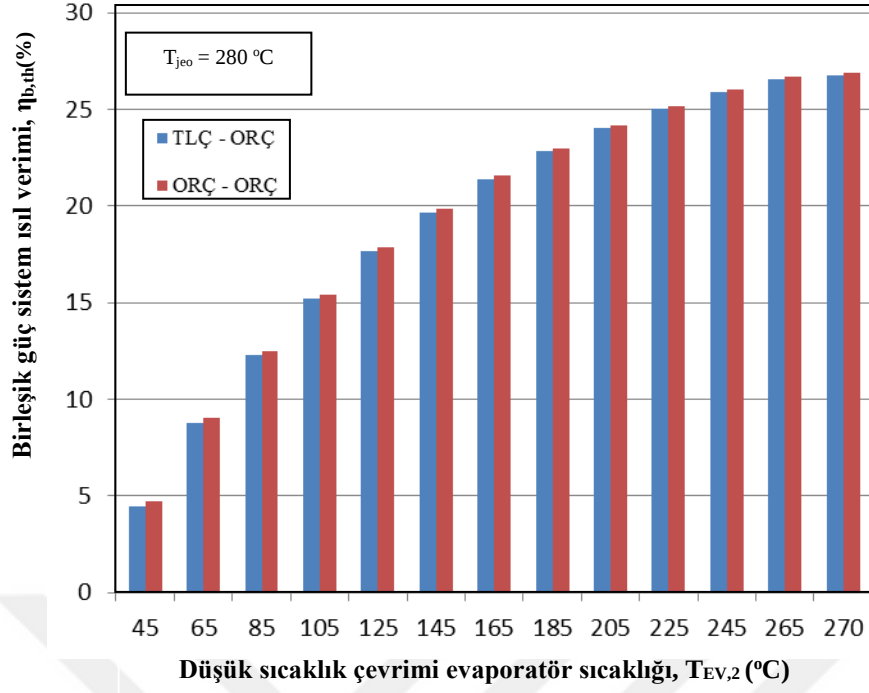
Şekil 4.29. $T_{gir} = 240\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ve 45 - 230 $^{\circ}\text{C}$ arasında değişen düşük sıcaklıklı evaporatör sıcaklık değerlerinde önerilen Toluen – Toluen akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistem için ısı verim değerlerinin karşılaştırılması



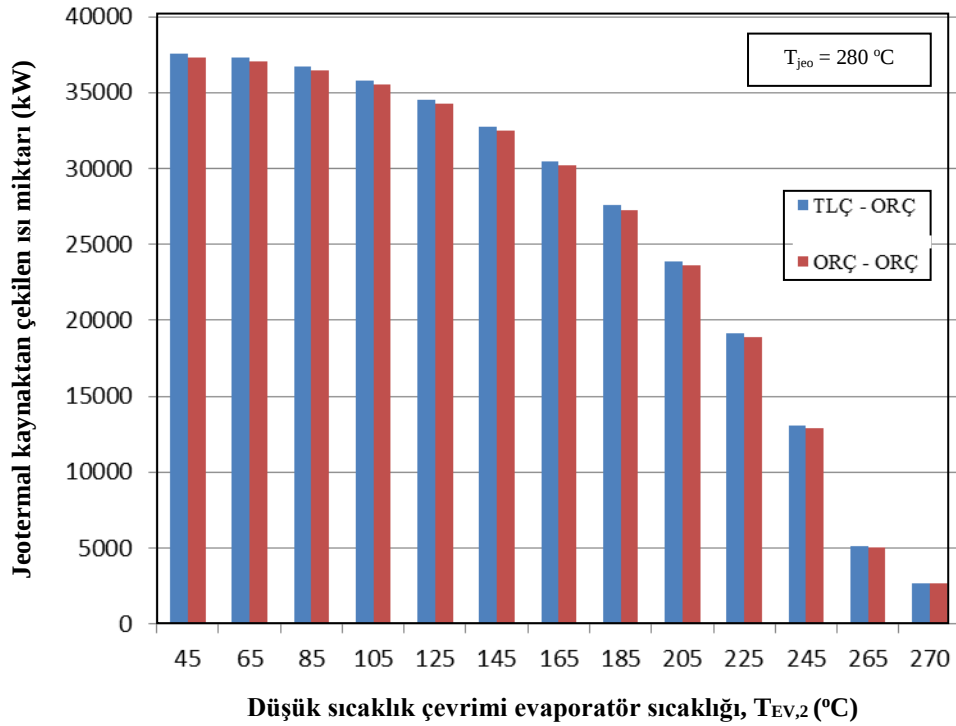
Şekil 4.30. 45 - 230 °C arasında değişen düşük sıcaklıklı evaporatör sıcaklık değerlerinde önerilen Toluen – Toluen akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistem için jeotermal kaynaktan toplam çekilen ısı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.31. 45 - 270 °C arasında değişen düşük sıcaklıklı evaporatör sıcaklık değerlerinde önerilen Toluen – Toluen akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistem için ısı verim değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.32. 45 - 270 °C arasında değişen düşük sıcaklıklı evaporatör sıcaklık değerlerinde önerilen Toluen – Toluen akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistem için ısı verim değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.33. 45 - 270 °C arasında değişen düşük sıcaklıklı evaporatör sıcaklık değerlerinde önerilen Toluen – Toluen akışkan çifti ile çalışıldığında iki birleşik güç sistem için jeotermal kaynaktan toplam çekilen ısı değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.25, 28 ve 31’de görüldüğü gibi araştırılan çalışma şartları için evaporatör 2 sıcaklığı arttıkça ORÇ-ORÇ ve TLÇ-ORÇ’nin güç çıkış değerleri artmış ve maksimum değere ulaşmıştır daha sonra ise azalmıştır. Bunun nedeni şöyle açıklanabilir: Evaporatör 2’nin sıcaklığı arttıkça sabit jeotermal kaynak sıcaklığı için sistemde dolaşan debi miktarı düşmekte ve belli bir evaporatör 2 sıcaklığına (optimum evaporatör 2 sıcaklığına) kadar genleştirici/türbin giriş-çıkış arasındaki entalpi farkı artar. Bu noktada entalpi farkındaki artış debideki düşüş miktarından daha yüksek olduğundan üretilen güç maksimum değere ulaşır. Evaporatör 2 sıcaklığının artmaya devam etmesiyle de bu sıcaklık jeotermal kaynak sıcaklığına yaklaşır ve entalpi farkı düşer bu nedenle de sistemde üretilen net güç miktarı bu kez azalır.

Şekil 4.25, 28 ve 31’e bakıldığında $T_{jeo} = 210$ °C’den 280 °C’ye çıktığında ORÇ-ORÇ’den elde edilecek maksimum güç % 73,34 - 132,6 aralığında artarken TLÇ-ORÇ’den elde edilen maksimum güç ise % 30 – 134 aralığında artar. Ayrıca jeotermal kaynağın 210, 240 ve 280 °C sıcaklık değerlerinin herbiri için sistemde belli evaporatör 2 çalışma şartında maksimum güç çıkış değeri elde edilmiştir. Sistemler bu optimum evaporatör 2 sıcaklık şartında çalıştırılmalı ve bu sıcaklık değerinde heriki sistemden elde edilen güç çıkış değerleri hemen hemen aynıdır.

Şekil 4.26, 29 ve 32’de çalışılan evaporatör 2 sıcaklıkları için ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin ısı verimi TLÇ-ORÇ sisteminden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni şöyle açıklanabilir; ORÇ-ORÇ’nin ürettiği net güç TLÇ-ORÇ’den daha yüksek ya da hemen hemen aynıdır. Şekil 4.27, 30 ve 33’e bakıldığında ise çalışılan tüm evaporatör 2 sıcaklıkları için TLÇ-ORÇ sisteminin jeotermal kaynaktan çektiği enerji, ORÇ-ORÇ sistemin kaynaktan çektiği enerjiden daha fazladır. Bu iki etki ile bu çalışma şartları için ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemi ile daha yüksek ısı verim değerlerine ulaşılır. ORÇ-ORÇ’nin ısı verim değerleri TLÇ-ORÇ’ninkinden % 0,41 – 0,64 aralığında daha fazladır.

4.3. RTLÇ-ORÇ, TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ Birleşik Güç Sistemlerinin Karşılaştırmalı Enerji Analizi

Araştırılan üç birleşik güç sistemin karşılaştırmalı enerji analizi jeotermal sıcaklığı 290 - 295 °C sıcaklık aralığı için yapılmıştır. RTLÇ-ORÇ çevriminde reküperatörün çalışması için genleştirici çıkışındaki akışkan sıcaklığının pompa

çıkışındaki akışkanın sıcaklığından yüksek olması gerekir ve bu da seçilen jeotermal sıcaklık değerlerinde sağlanır. Ayrıca ısı değiştiricilerinden (kondenserler ve evaporatörler) geçen akışkanlar arası minimum sıcaklığın 5 °C’de tutulması için bu sıcaklıklar seçilmiştir.

Jeotermal kaynağın 290 - 295 °C sıcaklık aralığında üç birleşik güç sistem için yüksek sıcaklık çevrimi için çalışma akışkanı olarak Toluen seçildi. Çünkü diğer araştırılan dokuz akışkanın kritik sıcaklıkları, bu sıcaklıkların altındadır. Düşük sıcaklık çevriminde ise Toluen akışkanı seçildiğinde en yüksek ısı verim ve güç değerlerine ulaşıldığından Toluen – Toluen akışkan çifti seçildi. Jeotermal kaynağın 290 ve 295 °C sıcaklık değeri için üç birleşik güç sistem farklı düşük sıcaklık evaporatör sıcaklık değerlerinde sistemlerin enerji analiz sonuçları karşılaştırıldı ve çizelgelerin her biri için analiz sonuçları detaylı bir şekilde değerlendirildi. Ayrıca ΔT_{rek} değeri 5 – 20 °C (Franko 2011, Cao ve ark. 2016, Ghaebi ve ark. 2019 ve Hagen ve ark. 2020) arasında değiştirilerek sonuçları karşılaştırmaya eklenmiştir.

$T_{EV,2} = 70$ °C’de jeotermal kaynak sıcaklığı 290 °C’den 295 °C’ye artarken elde edilen net güç çıkış değerleri üç birleşik güç sistem için de artmıştır (Çizelge 4.4). Çünkü sistemlerde jeotermal kaynak sıcaklığının artması evaporatör 1 doyma basıncını (sıcaklığını) artırır ve bu da yüksek sıcaklık çevriminde dolaşan akışkan miktarını artırır. Genleştirici / türbin 1’de üretilen gücünün pompa 1’de tüketilen güç miktarından daha fazla olduğundan net güç çıktısı artmaktadır. Aynı durum düşük sıcaklık çevrimi için de geçerlidir. Bu iki etki ile sistemin net gücü artar.

Çizelge 4.4’te RTLÇ-ORÇ birleşik güç sisteminde ΔT_{rek} değeri düştükçe net güç çıkış değerlerinin de düştüğü fakat ısı verim değerlerinin değişmediği görülmektedir. Bu şöyle açıklanabilir: ΔT_{rek} değeri düştükçe hem jeotermal kaynaktan çekilen ısı hem de genleştiricide üretilen net güç aynı oranda düşmektedir ve böylelikle de ısı verim değeri sabit kalmaktadır.

Çizelge 4.4’e göre karşılaştırılan her üç sistemde artan jeotermal sıcaklık ile ısı verim değerlerinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni; jeotermal kaynaktan çekilen ısı miktarındaki artışın toplam güç çıktısındaki artıştan daha düşük olması ve bunun da ısı verimi artırması ile açıklanabilir. Çizelge 4.4’teki çalışma şartlarında ORÇ-ORÇ’nin toplam ısı verimi, RTLÇ-ORÇ ve TLÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinden % 2,1 – 2,3, net güç değeri ise RTLÇ-ORÇ’nin maksimum net güç değerinden %1,34, TLÇ-ORÇ’den ise % 1,54 daha yüksektir.

$T_{EV,2} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de jeotermal kaynak sıcaklığının $290 - 295\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında önerilen Toluen – Toluen akışkan çiftiyle çalışıldığında yüksek ısı verim ve net güç çıkış değerleri amaçlanıyorsa ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin kullanılması önerilir.

RTLÇ-ORÇ, TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinin 290 ve $295\text{ }^{\circ}\text{C}$ jeotermal kaynak sıcaklıkları için farklı düşük sıcaklık evaporatörünün sıcaklık değerine göre karşılaştırmalı enerji analizleri Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5 ile verilmiştir.

Çizelge 4.5 – 4.6'ya bakıldığında evaporatör 2 sıcaklığı $55 - 275\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında arttıkça üç birleşik güç sistemin de ısı veriminin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni daha önce Bölüm 4.2.1'de açıklanmıştı.

Çizelge 4.5'te $T_{EV,2}$ 'nin çalışma aralığının alt sıcaklık değeri $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve üst sıcaklık değerinin de $275\text{ }^{\circ}\text{C}$, Çizelge 4.6'da ise çalışma aralığının alt sıcaklık değeri $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve üst sıcaklık değerinin de $270\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmasının nedeni evaporatör 2'den geçen akışkanlar arası sıcaklık farkının minimum $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ alınmasıdır.

Çizelge 4.5 - 4.6'da görüldüğü gibi jeotermal kaynağın 290 ve $295\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkları için $T_{EV,2}$ 'nin güç çıkışını maksimum yaptığı optimum bir değeri vardır ($T_{EV,2} = 175\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $T_{EV,2} = 190\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve bu değer üç birleşik güç sistem için de aynıdır. Bu optimum evaporatör 2 sıcaklığında maksimum net güç değerleri Çizelge 4.5 – 4.6'da RTLÇ-ORÇ ile elde edilmiştir ve bu değerler TLÇ-ORÇ'den % 0,05, ORÇ-ORÇ'den ise % 0,5 fazladır. Bu sonuçlara göre optimum çalışma şartlarında (net gücü maksimum yapan sıcaklıklarda) RTLÇ-ORÇ birleşik güç sistemi ile TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminden elde edilen net güç çıktılarının hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Bu nedenle çalışılan sıcaklıklarda reküperatör kullanmanın sonucu etkilemediği sonucuna varılmıştır. Çizelge 4.5 - 4.6'da optimum evaporatör 2 sıcaklıklarında en yüksek ısı verim değeri ORÇ-ORÇ ile elde edilmiştir. % 1,65, ORÇ-ORÇ'nin evaporatör 2'nin bu optimum sıcaklık değerlerinde ısı verim değerleri RTLÇ-ORÇ'den % 2,34, TLÇ-ORÇ'den ise % 0,7 oranında daha fazladır. Bu sonuçlara göre, yüksek ısı verim ve maksimum net güç çıktısı elde etmek için üç birleşik güç sistemi de kullanılabilir.

Çizelge 4.4. $T_{EV,2} = 70$ °C’de ve jeotermal kaynağın 290 ve 295 °C sıcaklık değerleri için RTLÇ-ORÇ, TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinin karşılaştırılması

T_{jeo} (°C)	RTLÇ-ORÇ ($\Delta T_{rek} = 20$ °C)			RTLÇ-ORÇ ($\Delta T_{rek} = 15$ °C)			RTLÇ-ORÇ ($\Delta T_{rek} = 10$ °C)			RTLÇ-ORÇ ($\Delta T_{rek} = 5$ °C)			TLÇ-ORÇ			ORÇ-ORÇ		
	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)
290	9,752	3964	40644	9,752	3962	40624	9,752	3960	40604	9,752	3958	40585	9,752	3956	40566	9,98	4022	40300
295	9,776	4164	42592	9,776	4162	42571	9,776	4160	42551	9,776	4158	42530	9,776	4156	42510	9,988	4220	42251

Çizelge 4.5. $T_{jeo} = 290$ °C’de ve $T_{EV,2}$ ’nin 55 – 275 °C sıcaklık değerleri için RTLÇ-ORÇ, TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinin karşılaştırılması

$T_{EV,2}$ (°C)	RTLÇ-ORÇ ($\Delta T_{rek} = 20$ °C)			RTLÇ-ORÇ ($\Delta T_{rek} = 15$ °C)			RTLÇ-ORÇ ($\Delta T_{rek} = 10$ °C)			RTLÇ-ORÇ ($\Delta T_{rek} = 5$ °C)			TLÇ-ORÇ			ORÇ-ORÇ		
	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)
55	6,773	2765	40820	6,773	2763	40801	6,773	2762	40782	6,773	2761	40763	6,186	2763	38681	7,018	2841	40489
75	10,65	4319	40548	10,65	4317	40528	10,65	4315	40509	10,65	4313	40489	10,12	4317	38317	10,87	4372	40201
95	13,86	5537	39964	13,86	5534	39944	13,86	5532	39924	13,86	5529	39905	13,37	5534	37655	14,06	5567	39603
115	16,52	6445	39023	16,52	6442	39002	16,52	6439	38982	16,52	6436	38963	16,07	6442	36651	16,7	6456	38651
135	18,74	7059	37667	18,74	7055	37647	18,74	7052	37627	18,74	7048	37607	18,33	7055	35253	18,91	7052	37289
155	20,61	7382	35825	20,61	7378	35805	20,61	7374	35785	20,61	7370	35766	20,22	7378	33398	20,76	7360	35445
175	22,17	7406	33404	22,17	7402	33385	22,17	7397	33366	22,17	7393	33347	21,81	7402	31001	22,32	7371	33030
195	23,49	7112	30284	23,49	7108	30266	23,49	7104	30248	23,49	7100	30230	23,15	7108	27958	23,62	7069	29924
215	24,59	6468	26304	24,59	6464	26287	24,59	6460	26271	24,59	6456	26255	24,27	6464	24130	24,71	6419	25972
235	25,51	5418	21238	25,51	5414	21223	25,51	5411	21209	25,51	5407	21196	25,21	5414	19325	25,63	5369	20950
255	26,28	3865	14709	26,28	3863	14699	26,28	3860	14688	26,28	3857	14678	25,99	3863	13234	26,39	3824	14492
275	26,91	1587	5898	26,91	1586	5894	26,91	1585	5889	26,91	1583	5885	26,63	1586	5211	27,01	1566	5800

Çizelge 4.6. $T_{jeo} = 295\text{ °C}$ 'de ve $T_{EV,2}$ 'nin 70 - 270 °C sıcaklık aralığında farklı düşük sıcaklık evaporeatör sıcaklık değerlerinde önerilen Toluen – Toluen akışkan çifti kullanılarak RTLÇ-ORÇ, TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinin karşılaştırılması

$T_{EV,2}$ (°C)	RTLÇ-ORÇ ($\Delta T_{rek} = 20\text{ °C}$)			RTLÇ-ORÇ ($\Delta T_{rek} = 15\text{ °C}$)			RTLÇ-ORÇ ($\Delta T_{rek} = 10\text{ °C}$)			RTLÇ-ORÇ ($\Delta T_{rek} = 5\text{ °C}$)			TLÇ-ORÇ			ORÇ-ORÇ		
	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\dot{Q}_{gir}$ (kW)
70	6,773	2765	42592	6,773	2763	42571	6,773	2762	42551	6,773	2761	42530	6,186	2763	39048	7,018	2841	42251
90	10,65	4319	42162	10,65	4317	42141	10,65	4315	42120	10,65	4313	42100	10,12	4317	38480	10,87	4372	41807
110	13,86	5537	41389	13,86	5534	41367	13,86	5532	41346	13,86	5529	41325	13,37	5534	37590	14,06	5567	41021
130	16,52	6445	40218	16,52	6442	40196	16,52	6439	40175	16,52	6436	40154	16,07	6442	36333	16,7	6456	39841
150	18,74	7059	38584	18,74	7055	38563	18,74	7052	38541	18,74	7048	38521	18,33	7055	34651	18,91	7052	38202
170	20,61	7382	36401	20,61	7378	36380	20,61	7374	36359	20,61	7370	36339	20,22	7378	32472	20,76	7360	36021
190	22,17	7406	33558	22,17	7402	33538	22,17	7397	33518	22,17	7393	33499	21,81	7402	29705	22,32	7371	33187
210	23,49	7112	29911	23,49	7108	29893	23,49	7104	29874	23,49	7100	29856	23,15	7108	26233	23,62	7069	29561
230	24,59	6468	25264	24,59	6464	25248	24,59	6460	25231	24,59	6456	25215	24,27	6464	21903	24,71	6419	24948
250	25,51	5418	19314	25,51	5414	19301	25,51	5411	19288	25,51	5407	19274	25,21	5414	16484	25,63	5369	19052
270	26,28	3865	11462	26,28	3863	11453	26,28	3860	11444	26,28	3857	11435	25,99	3863	9550	26,39	3824	11288

Üç analizdeki sonuçlar incelendiğinde RTLÇ-ORÇ, TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemleri için en yüksek ısı verim ve net güç çıkış değerleri sırasıyla %26,91, 7406 kW, % 27,18, 7402 kW ve % 27,27, 7371 kW'tır.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

TLÇ ve ORÇ sistemlerinin kullanıldığı birleşik güç sistemlerinden TLÇ-ORÇ RTLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinin farklı çalışma şartlarında ısı verimlerini ve net güç çıktıları maksimum yapan akışkan çiftleri Engineering Equation Solver (EES) programı yardımı ile belirlendi. Farklı çalışma şartları için birleşik güç sistemlerin karşılaştırmalı enerji analizleri yapıldı.

Birinci analizde düşük sıcaklık çevriminin evaporatör sıcaklığını sabit kabul ederek TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sisteminin farklı jeotermal sıcaklık değerleri için ısı verimleri ve net güçleri karşılaştırıldı.

İkinci analizde jeotermal kaynağın sıcaklığı sabit tutularak TLÇ-ORÇ ile ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinin düşük sıcaklık çevrim evaporatörünün farklı sıcaklık değerleri için termodinamik analizleri yapıldı ve sonuçları değerlendirildi.

Üçüncü analizde ise RTLÇ-ORÇ, TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemlerinin, jeotermal kaynak sıcaklığı 290 ve 295 °C için düşük sıcaklık evaporatörünün farklı sıcaklık değerlerinde enerji analizleri yapıldı ve sonuçlar karşılaştırıldı.

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1- Araştırılan çalışma şartları için ısı verimi ve üretilen gücü maksimum yapan optimum akışkan çiftleri vardır. Jeotermal kaynak sıcaklığının 100 – 280 °C aralığında artmasıyla TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemleri ile maksimum ısı verim ve net güç çıkışı sağlayan akışkan çiftleri bazı sıcaklıklar için değişkenlik göstermiştir. Jeotermal kaynağın 290 – 295 °C sıcaklıklarında ise üç çevrim için de Toluen – Toluen akışkan çifti ile maksimum ısı verim ve net güç değerlerine ulaşılmıştır.

2- Jeotermal kaynak sıcaklığı arttıkça üç birleşik güç sistemin de ısı verim değerleri artmaktadır.

3- Evaporatör 2 sıcaklığı arttıkça araştırılan üç birleşik güç sistemin de ısı verimi artmaktadır.

4- Jeotermal kaynağın her sıcaklığı için birleşik güç sistemlerinde maksimum gücün elde edildiği bir optimum evaporatör 2 çalışma sıcaklığı vardır.

5- $T_{EV,2} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $100 - 210\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişen jeotermal kaynak sıcaklık değerlerinde ısı verimi maksimum yapan Toluen – Toluen akışkan çifti kullanıldığında ORÇ-ORÇ'nin ısı verimi % 1,1 – 2,3 arasında daha yüksektir.

6- $T_{EV,2} = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve jeotermal kaynak sıcaklığının $100 - 175\text{ }^{\circ}\text{C}$ aralığı için gücü maksimum yapan akışkan çifti kullanıldığında ORÇ-ORÇ'nin net güç çıkışı TLÇ-ORÇ'den değerleri % 1,9 – 3, 180 – 280 sıcaklık aralığında ise % 1,5 – 7,1 daha yüksektir.

7- Jeotermal kaynak sıcaklığı $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve evaporatör 2'nin $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığı için ORÇ-ORÇ'nin net gücü TLÇ-ORÇ'den % 2,1, jeotermal kaynak sıcaklığı $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ evaporatör 2'nin sıcaklığı için ise % 1,7 daha yüksektir.

8- Jeotermal kaynak sıcaklığı $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve evaporatör 2'nin $145\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığı için TLÇ-ORÇ'nin net gücü ORÇ-ORÇ'den % 1,4 daha yüksektir.

9- Jeotermal kaynak sıcaklığı $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve evaporatör 2'nin $145\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığı için ORÇ-ORÇ'nin net gücü TLÇ-ORÇ'den % 23,5 daha yüksektir.

10- Jeotermal kaynak sıcaklığı $200 - 280\text{ }^{\circ}\text{C}$ için gücü maksimum yapan evaporatör 2 sıcaklıkları vardır. Bu optimum sıcaklıklarda TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ'den elde edilen maksimum güç hemen hemen aynıdır (güçler arasındaki fark % 0,14 - 0,43 kadardır). Aynı zaman bu optimum sıcaklıkta ısı verimleri de çok yakındır (% 0,3 - 0,55).

11- Jeotermal kaynağın $290 - 295\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkları için gücü maksimum yapan evaporatör 2 sıcaklık değerlerinde üç birleşik güç sistemin de maksimum net güç çıktısı, hemen hemen aynıdır (Bu değerler arasındaki fark % 0,5 - 0,05'tir).

12- RTLÇ-ORÇ birleşik güç sistemi ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, ΔT_{rek} değerini artırmanın sistemin net güç çıkış değerlerini % 0,14 – 0,2 aralığında artırmaktadır. Gerçekleşen bu iyileşme oranının kayda değer olmadığı sonucuna varıldı.

13- RTLÇ-ORÇ, TLÇ-ORÇ ve ORÇ-ORÇ birleşik güç sistemleri için en yüksek ısı verim ve net güç çıkış değerleri sırasıyla % 26,91, 7406 kW, % 26,75, 7402 kW ve % 27,01, 7371 kW'tır. Bu değerler tüm çalışma şartları dikkate alındığında üç birleşik güç sistem ile elde edilen maksimum ısı verim ve net güç çıkış değerleridir.

5.2 Öneriler

1- ORÇ ve TLÇ kullanılan birleşik güç sistemlerle çalışıldığında her çalışma şartı için akışkan çifti analizi yapılmalıdır.

2- Çalışma şartlarına bağlı olarak hangi birleşik güç sistem ile çalışmanın uygun olacağını belirlemek için karşılaştırmalı termodinamik analiz yapılmalıdır.

3- RTLÇ-ORÇ birleşik güç sistemini kullanmak kayda değer bir iyileşme sağlamayacağından araştırılan çalışma şartlarında uygun değildir.

4- Çalışma şartlarına göre gücü maksimum yapacak düşük sıcaklık evaporatör sıcaklığı ve buna göre sistem tasarlanmalıdır.

5- İleriki çalışmalarda bu sistemlerin ekserji analizinin yapılması ve termodinamiğin ikinci kanunu açısından karşılaştırılması önerilir.

KAYNAKLAR

- Agromayor, R., ve Nord, L.O., 2017, Fluid selection and thermodynamic optimization of organic Rankine cycles for waste heat recovery applications, *Energy Procedia*, 129, 527-534.
- Anonim, 2019, Jeotermal haberler 2019 [online], <http://www.jeotermalhaberler.com.html> [Ziyaret tarihi: 21 aralık 2019]
- Anonim, 2020, Teiaş 2019 yılı istatistikleri [online], <https://www.elektrikport.com/haber-roportaj/2019-yili-turkiye-elektrik-istatistikleri/22488#ad-image-0.html> [Ziyaret tarihi: 18 Mayıs 2020]
- Altun, A. F. ve Kılıç, M., 2020, Thermodynamic performance evaluation of a geothermal ORC power plant, *Ren. En.*, 148, 261-274.
- Apostol V., Pop, H., Dobrovicescu, A., Prisecaru, T., Alexandru, A. ve Prisecaru, M., 2015, Thermodynamic Analysis of ORC Configurations Used For WHR from a Turbocharged diesel engine, *25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation*, Viyana, Avusturya, 100, 549-558.
- Astolfi, M., Diega, L.N.L., Romano, M.C., Merlo, U., Filippini S. ve Macchi, E., 2020, Techno-economic optimization of a geothermal ORC with novel “Emeritus” heat rejection units in hot climates, *Ren, En.*, 147, 2810-2821.
- Bao, J. ve Zhao L., 2013, A review of working fluid and expander selections for organic Rankine cycle, *Ren. And Sus. En, Rev*, 24, 325-342.
- Braimakis, K. ve Karellas, S., 2018, Exergetic optimization of double stage Organic Rankine Cycle (ORC), *Energy*, 149, 296-313.
- Bulgurcu, H., Kon, O. ve İlten N., 2007, Soğutucu Akışkanların Çevresel Etkileri ile İlgili Yeni Yasal Düzenlemeler ve Hedefler, *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 915-928, İzmir-2007.
- Cao, Y., Gao, Y., Zheng, Y. ve Dai, Y., 2016, Optimum design and thermodynamic analysis of a gas turbine and ORC combined cycle with recuperators, *En. Con. And Man.*, 116, 32-41.
- Chang, N., Zhu, J., Chen, G., Zhang, P. ve Song, A., 2019, Working fluids selection from perspectives of heat source and expander for a Trilateral cycle, *Energy Procedia*, 158, 1579-1584.
- Cipollone, R., Bianchi G., Batrolomeo, M.D., Battissa, D.D. ve Fatigati, F., 2017, Low grade thermal recovery based on trilateral flash cycles using recent pure fluids and mixtures, *Energy Procedia*, 123, 289-296.
- Franco, A., 2011, Power production from a moderate temperature geothermal resource with regenerative Organic Rankine Cycles, *En. for Sus. Dev.*, 15, 411-419.

- Ghaebi, H., Yari, M., Gargari, S.G. ve Rostamzadeh, H., 2019, Thermodynamic modeling and optimization of a combined biogas steam reforming system and organic Rankine cycle for coproduction of power and hydrogen, *Ren. En.*, 130, 87-102.
- Hagen, B.A.L., Nikolaisen, M. ve Andresen, T., 2020, A novel methodology for Rankine cycle analysis with generic heat exchanger models, *App. Ther. Eng.*, 165, 114566.
- Hoang, A. T., 2018, Waste heat recovery from diesel engines based on Organic Rankine Cycle, *App. En.*, 231, 138-166.
- Imran, M., Usman, M., Park, B.S. ve Yang, Y., 2016, Comparative assessment of Organic Rankine Cycle integration for low temperature geothermal heat source applications, *Energy*, 102, 473-490.
- Iqbal, M.A., Rana, S., Ahmadi, M., Date, A. ve Akbarzadeh, A., 2020, Experimental study on the prospect of low-temperature heat to power generation using Trilateral Flash Cycle (TFC), *App. Ther. Eng.*, 172, 115-139.
- Kaya, T., 2018, JEOTERMAL ENERJİ, Türkiye'nin Enerji Görünümü 2018, *Makine Mühendisleri Odası Oda Raporu 13. Bölüm*, Yayın no: MMO/691.
- Koyun, T., Koyun, A. ve Acar, M., 2005, Soğutma Sistemlerinde Kullanılan Soğutucu Akışkanlar ve Bu Akışkanların Ozon Tabakası Üzerine Etkileri, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 88, 46-53.
- Li, Z., Lu, Y., Huang, Y., Qian, G., Chen, F., Yu, X. ve Roskilly, A., 2017, Comparison study of Trilateral Rankine Cycle, Organic Flash Cycle and basic Organic Rankine Cycle for low grade heat recovery, *Energy Procedia*, 142, 1441-1447.
- Li, Z., Huang, R., Lu, Y., Roskilly, A.P. ve Yu, X., 2019, Analysis of a combined trilateral cycle - organik Rankine cycle (TLC-ORC) system for waste heat recovery, *Energy Procedia*, 158, 1786-1791.
- Lu, X., Zhao, Y., Zhu, J. ve Zhang, W., 2018, Optimization and applicability of compound power cycles for enhanced geothermal systems, *App. En.*, 229, 128-141.
- Marion, M., Voicu, I. ve Tiffonnet, A.L., 2012, Study and optimization of a solar subcritical organic Rankine cycle, *Ren. En.*, 48, 100-109.
- Mohammadkhani, F. ve Yari, M., 2019, A 0D model for diesel engine simulation and employing a transcritical dual loop Organic Rankine Cycle (ORC) for waste heat recovery from its exhaust and coolant: Thermodynamic and economic analysis, *App. Ther. Eng.*, 150, 329-347.
- Mondal, S., Alam, S. ve De, S., 2018, Performance assessment of a low grade waste heat driven organic flash cycle (OFC) with ejector, *Energy*, 163, 849-862.

- Rashwan, S.S., Dinçer, İ. ve Mohany, A., 2019, Analysis and assessment of cascaded closed loop type organic Rankine cycle, *En. Con. And Man.*, 184, 416-426.
- Shengjun, Z., Huaixin, W. ve Tao, G., 2011, Performance comparison and parametric optimization of subcritical Organic Rankine Cycle (ORC) and transcritical power cycle system for low-temperature geothermal power generation, *App. En.*, 88, 2740-2754.
- Song, J. ve Gu, C., 2015b, Parametric analysis of a dual loop Organic Rankine Cycle (ORC) system for engine waste heat recovery, *Energy Conversion and Management*, 105, 995-1005.
- Sun, J., Liua, Q. ve Duan, Y., 2018, Effects of evaporator pinch point temperature difference on thermoeconomic performance of geothermal organic Rankine cycle systems, *Geothermics*, 75, 249-258.
- Sung, T., Yun, E., Kim, H.D., Yoon, S.Y., Choi, B.S., Kim, K., Kim, J., Jung, Y.B. ve Kim, K.C., 2016, Performance characteristics of a 200-kW organic Rankine cycle system in a steel processing plant, *Applied Energy*, 183, 623-635.
- Şahin, R., Ata S. ve Kahraman A., 2018, Organik Rankine Çevriminde Farklı Tip Akışkanlarda Türbin Giriş Sıcaklığı ve Basıncının Sistem Bileşenlerindeki Tersinmezlik Değerlerine Etkisinin Belirlenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(2), 225-236.
- Tiwari, D., Sherwani, A.F., Atheaya, D. ve Arora, A., 2017, Energy and exergy analysis of solar driven recuperated organic Rankine cycle using glazed reverse absorber conventional compound parabolic concentrator (GRACCPC) system, *Solar Energy*, 155, 1431-1442.
- Wang, E. H., Zhang, H. G., Zhao, Y., Fan, B. Y., Wu, Y. T. ve Mu, Q. H., 2012, Performance analysis of a novel system combining a dual loop organic Rankine cycle (ORC) with a gasoline engine, *Energy*, 43, 385-395.
- Wang, E. H., Zhang H. G., Fan, B. Y., Ouyang, M. G., Yang F. Y., Yang, K., Wang, Z. Zhang J., ve Yang, F. B., 2014, Parametric analysis of a dual-loop ORC system for waste heat recovery of a diesel engine, *App. Ther. Eng.*, 67, 168-178.
- Yang, F., Zhang, H., Yu, Z., Wang, E., Meng, F., Liu, H. ve Wang, J., 2017a, Parametric optimization and heat transfer analysis of a dual loop ORC (organic Rankine cycle) system for CNG engine waste heat recovery, *Energy*, 113, 753-775.
- Yang, F., Cho, H., Zhang, H. ve Zhang, J., 2017b, Thermoeconomic multi-objective optimization of a dual loop organic Rankine cycle (ORC) for CNG engine waste heat recovery, *Applied Energy*, 205, 1100-1118.

- Yang, J., Li, J., Yang, Z. ve Duan, Y., 2019, Thermodynamic analysis and optimization of a solar organic Rankine cycle operating with stable output, *En. Con. And Man.*, 187, 459-471.
- Yu, X., Li, Z., Lu, Y., Huang, R. ve Roskilly, A. P., 2018, Investigation of an Innovative Cascade Cycle Combining a Trilateral Cycle and an Organic Rankine Cycle (TLC-ORC) for Industry or Transport Application, *Energies*, 11, 3032.
- Zeynali, A., Akbari, A. ve Khalilian, M., 2019, Investigation of the performance of modified organic Rankine cycles (ORCs) and modified trilateral flash cycles (TFCs) assisted by a solar pond, *Solar Energy*, 182, 361-381.
- Zhang, X., Wua, Y., Lia, Z. ve Chen, Y., 2019, A hybrid flue gas heat recovery system based on vapor compression refrigeration and liquid desiccant dehumidification, *En. Con. And Man.*, 195, 157-166.



EKLER

EK-1

Investigation of the combined TLC-ORC and the combined ORC-ORC power systems

M.ÖZÇELİK¹, N. BİLİR SAĞ²¹ Konya Technical University, Konya/Turkey, mehmetozcelik61@hotmail.com² Konya Technical University, Konya/Turkey, nbilir@ktun.edu.tr

Abstract - One of the best performances in waste heat and power generation systems is the organic Rankine cycle. The difference of the Organic Rankine Cycle from the basic Steam Rankine Cycle is the use of organic fluids as the working fluid. Power generation can be achieved from low temperature heat sources (80-90°C) with organic fluids. In this study, studies on dual loop combined power systems and system structures were investigated. As a result of the investigations, it was concluded that higher thermal efficiency and lower exergy destruction were obtained from combined Trilateral Cycle-Organic Rankine Cycle power system.

Keywords – Organic fluids, Organik Rankine cycle, Trilateral cycle, Combined power systems.

INTRODUCTION

ENERGY is one of the necessities of the one in which we operate it in our daily lives. With the increase of the world population, the energy demand in both daily and industrial areas have increased. With the insufficient reserves of fossil fuels, new energy sources are searched for. The Rankine cycle is one of the most widely used methods for converting high capacity thermal energy into power and the system uses water as working fluid. Power can be generated from high-temperature heat sources with the Rankine cycle, but power generation from low-temperature sources (solar, geothermal, biomass technology, renewable etc.) with the Organic Rankine cycle.

Organic Rankine Cycle (ORC) uses a low-temperature waste heat source; Concentrating solar energy systems generate power from the exhaust gases and gas turbines of diesel engines, waste heat in industrial processes, geothermal energy and waste heat produced by biomass [1]. For this reason, ORCs are widely used around the world and their usage continues to increase.

Organic Rankine Cycle

When water is used as the working fluid in small and medium power cycles, there is a risk of corrosion in turbine blades, high pressure operation in the evaporator, and the use of complex turbines. The problems encountered with the use of water can be partially reduced by the use of appropriate fluid [2]. Fluids with a higher molecular weight and lower critical temperature than water are called organic fluids. Rankine cycles using these fluids are also called Organic Rankine Cycle (ORC). The working principle of ORC is the same as the Rankine cycle. ORC has pump, evaporator, turbine and condenser elements. ORC is used for heat recovery from low temperature heat source. The yield of ORCs varies between 8-20% [3].

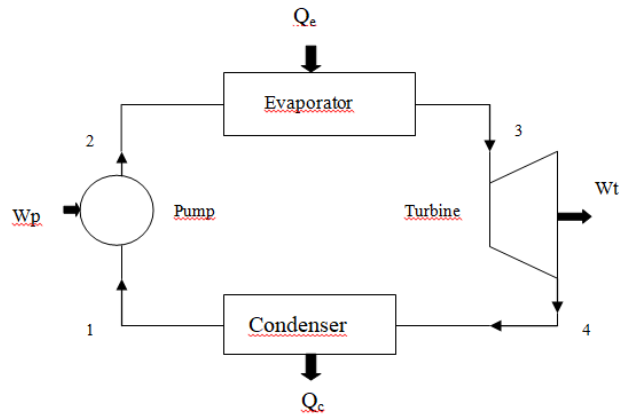


Figure 1: System structure of simple ORC.

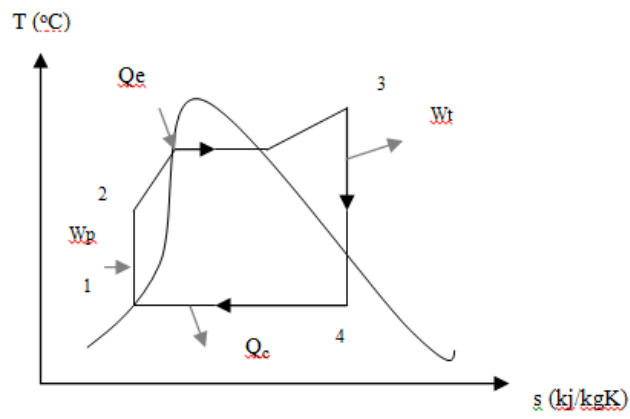


Figure 2: T-s diagram of the simple ORC.

In the cycle, respectively;

1-2: Isentropic compression in the pump

2-3: Heat input at constant pressure in the evaporator

3-4: Isentropic expansion in the turbine

4-1: Steps of throwing heat at constant pressure in the condenser take place.

EK-2 TLÇ – ORÇ Çalışma Akışkan Analizi

Çizelge 1. TLÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı R245fa’ken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklık HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		SES 36		R365mfc		R601a		Toluen		R601	
T _{EV,1} (°C)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95	8,859	359,9	8,857	359,8	8,859	359,9	8,859	359,9	8,861	360	8,815	358,2	8,862	360	8,863	360	8,866	360,2	8,862	360
100	8,88	433,5	8,876	433,3	8,877	433,3	8,877	433,3	8,879	433,4	8,831	431,2	8,88	433,5	8,88	433,5	8,883	433,6	8,879	433,4
105	8,904	507,7	8,895	507,3	8,895	507,3	8,895	507,3	8,897	507,4	8,848	504,7	8,897	507,4	8,898	507,4	8,901	507,6	8,897	507,4
110	8,931	583	8,914	581,9	8,913	581,8	8,913	581,8	8,914	581,9	8,865	578,7	8,915	581,9	8,916	582	8,918	582,1	8,914	581,9
115			8,933	657,1	8,932	657	8,931	657	8,932	657,1	8,881	653,4	8,932	657	8,933	657,1	8,935	657,3	8,932	657
120			8,954	733,2	8,951	732,9	8,95	732,9	8,95	732,9	8,897	728,7	8,949	732,8	8,951	732,9	8,953	733,1	8,949	732,8
125			8,976	810,1	8,971	809,6	8,969	809,4	8,969	809,4	8,914	804,6	8,967	809,2	8,969	809,4	8,97	809,5	8,967	809,3
130			9,001	888,1	8,992	887,2	8,988	886,8	8,987	886,7	8,93	881,3	8,984	886,4	8,986	886,6	8,987	886,7	8,984	886,5
135					9,016	965,9	9,008	965,1	9,006	964,9	8,947	958,7	9,001	964,4	9,004	964,7	9,004	964,7	9,002	964,4
140							9,029	1044	9,026	1044	8,963	1037	9,018	1043	9,022	1044	9,021	1043	9,019	1043
145							9,052	1125	9,048	1124	8,98	1116	9,036	1123	9,04	1123	9,038	1123	9,037	1123
150							9,081	1207	9,072	1206	8,997	1196	9,053	1203	9,058	1204	9,055	1204	9,054	1204
155											9,015	1277	9,071	1285	9,076	1286	9,072	1285	9,072	1285
160											9,034	1360	9,089	1368	9,094	1369	9,089	1368	9,09	1368
165											9,054	1444	9,107	1452	9,113	1453	9,105	1452	9,108	1452
170											9,077	1529	9,126	1537	9,133	1538	9,122	1537	9,126	1537
175											9,106	1617	9,145	1624	9,153	1625	9,139	1623	9,145	1624
185																	9,172	1800	9,184	1802

Çizelge 2. TLÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı R152a’ken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklık HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		Toluen		SES 36		R601		R601a		R365mfc	
$T_{EV,1}$ (°C)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95	8,716	361,5	8,715	361,5	8,716	361,5	8,716	361,5	8,718	361,6	8,722	361,8	8,676	359,9	8,719	361,6	8,719	361,6	8,719	361,6
100	8,735	435,3	8,731	435,1	8,732	435,2	8,732	435,2	8,734	435,3	8,738	435,5	8,691	433,2	8,735	435,3	8,735	435,3	8,735	435,3
105	8,756	509,8	8,748	509,4	8,748	509,4	8,748	509,4	8,75	509,5	8,754	509,7	8,706	507	8,75	509,5	8,751	509,5	8,751	509,5
110	8,781	585,2	8,766	584,2	8,765	584,1	8,765	584,1	8,766	584,2	8,769	584,4	8,721	581,3	8,766	584,2	8,767	584,3	8,766	584,2
115			8,783	659,6	8,782	659,5	8,781	659,5	8,782	659,6	8,785	659,8	8,736	656,2	8,782	659,5	8,783	659,6	8,782	659,5
120			8,802	735,8	8,799	735,6	8,798	735,5	8,799	735,6	8,801	735,7	8,751	731,7	8,798	735,5	8,799	735,6	8,798	735,5
125			8,822	812,8	8,817	812,4	8,815	812,3	8,815	812,2	8,816	812,3	8,766	807,8	8,813	812,1	8,815	812,2	8,813	812,1
130			8,844	890,9	8,836	890,1	8,833	889,8	8,832	889,7	8,832	889,7	8,78	884,6	8,829	889,4	8,831	889,6	8,829	889,4
135					8,858	968,9	8,851	968,1	8,849	967,9	8,847	967,7	8,795	962,2	8,845	967,5	8,847	967,7	8,844	967,4
140							8,87	1047	8,867	1047	8,862	1047	8,81	1041	8,861	1046	8,863	1047	8,86	1046
145							8,89	1128	8,886	1127	8,878	1126	8,825	1120	8,877	1126	8,879	1126	8,876	1126
150							8,916	1210	8,909	1209	8,893	1207	8,841	1200	8,892	1207	8,895	1207	8,891	1207
155											8,908	1289	8,857	1281	8,908	1289	8,912	1289	8,907	1288
160											8,923	1371	8,874	1364	8,925	1371	8,929	1372	8,923	1371
165											8,938	1455	8,892	1448	8,941	1455	8,946	1456	8,94	1455
170											8,954	1540	8,912	1533	8,957	1540	8,963	1541	8,957	1540
175											8,969	1626	8,939	1621	8,974	1627	8,981	1628	8,975	1627

Çizelge 3. TLÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı R600a'yken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklık HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		Toluen		SES 36		R601		R601a		R365mfc	
$T_{EV,1}$ (°C)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95	8,684	363,3	8,682	363,2	8,683	363,3	8,686	363,4	8,686	363,4	8,69	363,5	8,639	361,4	8,687	363,4	8,687	363,4	8,687	363,4
100	8,705	437,6	8,701	437,4	8,702	437,4	8,704	437,5	8,704	437,5	8,708	437,7	8,656	435,1	8,705	437,5	8,705	437,6	8,705	437,6
105	8,729	512,6	8,72	512,1	8,72	512,1	8,722	512,2	8,722	512,2	8,726	512,4	8,672	509,4	8,723	512,2	8,723	512,3	8,723	512,2
110	8,757	588,6	8,739	587,4	8,739	587,4	8,74	587,5	8,74	587,5	8,744	587,7	8,689	584,2	8,741	587,5	8,741	587,6	8,74	587,5
115			8,759	663,5	8,758	663,4	8,758	663,4	8,758	663,4	8,761	663,6	8,706	659,6	8,759	663,4	8,759	663,5	8,758	663,4
120			8,78	740,3	8,777	740,1	8,776	739,9	8,777	740	8,779	740,2	8,723	735,6	8,777	739,9	8,777	740,1	8,776	739,9
125			8,803	818,1	8,797	817,6	8,793	817,2	8,795	817,4	8,797	817,5	8,739	812,3	8,795	817,2	8,795	817,4	8,793	817,2
130			8,829	896,9	8,819	896	8,811	895,2	8,814	895,5	8,814	895,5	8,756	889,8	8,813	895,2	8,813	895,4	8,811	895,2
135					8,844	975,6	8,829	974	8,834	974,5	8,831	974,3	8,773	968	8,831	974	8,831	974,3	8,828	974
140							8,847	1054	8,854	1055	8,849	1054	8,79	1047	8,849	1054	8,849	1054	8,846	1054
145							8,865	1134	8,876	1136	8,866	1134	8,807	1127	8,868	1134	8,868	1135	8,864	1134
150							8,883	1216	8,901	1218	8,883	1216	8,825	1208	8,886	1216	8,886	1216	8,882	1216
155											8,901	1298	8,843	1290	8,905	1298	8,905	1299	8,9	1298
160											8,918	1382	8,862	1374	8,923	1382	8,923	1383	8,918	1382
165											8,935	1467	8,882	1458	8,943	1467	8,943	1468	8,936	1467
170											8,952	1553	8,905	1545	8,962	1553	8,962	1554	8,955	1553
175											8,969	1640	8,935	1634	9,136	1591	8,983	1642	8,976	1641

Çizelge 4. TLÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı R236ea'yken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklık HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		Toluen		SES 36		R601		R601a		R365mfc	
$T_{EV,1}$ (°C)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95	8,634	364,7	8,632	364,7	8,634	364,7	8,634	364,7	8,637	364,8	8,642	365	8,585	362,7	8,637	364,9	8,638	364,9	8,638	364,9
100	8,658	439,4	8,653	439,2	8,654	439,2	8,654	439,2	8,656	439,4	8,661	439,6	8,603	436,8	8,657	439,4	8,658	439,4	8,658	439,4
105	8,684	514,9	8,674	514,3	8,674	514,4	8,674	514,4	8,676	514,5	8,681	514,7	8,622	511,4	8,677	514,5	8,678	514,6	8,677	514,5
110	8,715	591,5	8,695	590,2	8,695	590,1	8,695	590,1	8,696	590,2	8,7	590,5	8,64	586,6	8,696	590,2	8,698	590,3	8,696	590,2
115			8,717	666,7	8,716	666,6	8,715	666,6	8,716	666,6	8,72	666,9	8,659	662,4	8,716	666,6	8,717	666,7	8,716	666,6
120			8,74	744,1	8,737	743,8	8,736	743,7	8,736	743,8	8,739	744	8,677	738,9	8,735	743,7	8,737	743,8	8,735	743,7
125			8,765	822,5	8,759	821,9	8,757	821,7	8,757	821,7	8,758	821,8	8,695	816,1	8,755	821,5	8,757	821,7	8,755	821,5
130			8,793	902	8,783	901	8,779	900,5	8,778	900,4	8,777	900,4	8,714	894,1	8,774	900,1	8,777	900,3	8,774	900,1
135					8,81	981,3	8,801	980,3	8,799	980,1	8,797	979,8	8,732	972,9	8,794	979,6	8,796	979,8	8,793	979,5
140							8,825	1061	8,821	1061	8,816	1060	8,751	1053	8,814	1060	8,816	1060	8,813	1060
145							8,85	1143	8,845	1143	8,835	1141	8,77	1133	8,833	1141	8,836	1142	8,832	1141
150							8,883	1227	8,873	1226	8,854	1224	8,789	1215	8,853	1223	8,857	1224	8,852	1223
155											8,872	1307	8,809	1298	8,873	1307	8,877	1307	8,871	1307
160											8,891	1391	8,83	1382	8,893	1391	8,898	1392	8,891	1391
165											8,91	1477	8,852	1467	8,913	1477	8,919	1478	8,912	1477
170											8,929	1563	8,878	1555	8,933	1564	8,94	1565	8,933	1564

Çizelge 5. TLÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı R600’ken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklı HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

[illegible]

Çizelge 6. TLÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı Toluen’ken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklı HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		Toluen		SES 36		R601		R601a		R365mfc	
$T_{EV,1}$ (°C)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95	9,328	340,1	9,327	340	9,328	340,1	9,328	340,1	9,33	340,1	9,332	340,2	9,301	339,1	9,33	340,1	9,331	340,1	9,33	340,1
100	9,342	409,2	9,339	409,1	9,339	409,1	9,339	409,1	9,341	409,2	9,343	409,3	9,311	407,9	9,341	409,2	9,342	409,2	9,341	409,2
105	9,356	478,8	9,351	478,6	9,351	478,6	9,351	478,6	9,352	478,6	9,354	478,7	9,321	477,1	9,352	478,6	9,353	478,7	9,352	478,6
110	9,374	549,1	9,363	548,5	9,362	548,5	9,362	548,5	9,363	548,5	9,365	548,6	9,332	546,7	9,363	548,5	9,364	548,6	9,363	548,5
115			9,375	618,9	9,374	618,9	9,374	618,8	9,374	618,9	9,376	619	9,342	616,8	9,374	618,9	9,375	618,9	9,374	618,9
120			9,388	689,9	9,386	689,8	9,385	689,7	9,386	689,8	9,387	689,9	9,352	687,4	9,385	689,7	9,386	689,8	9,385	689,7
125			9,402	761,6	9,398	761,3	9,397	761,2	9,397	761,2	9,398	761,3	9,363	758,5	9,396	761,1	9,397	761,2	9,396	761,1
130			9,418	834	9,412	833,5	9,409	833,3	9,409	833,3	9,409	833,3	9,373	830,1	9,407	833,1	9,408	833,2	9,407	833,1
135					9,427	906,6	9,422	906,1	9,421	906	9,419	905,9	9,383	902,4	9,418	905,7	9,419	905,9	9,418	905,7
140							9,435	979,6	9,433	979,5	9,43	979,1	9,394	975,4	9,429	979	9,431	979,2	9,428	979
145							9,45	1054	9,447	1054	9,441	1053	9,404	1049	9,44	1053	9,442	1053	9,439	1053
150							9,468	1130	9,462	1129	9,452	1128	9,415	1124	9,451	1128	9,453	1128	9,45	1128
155											9,462	1203	9,426	1199	9,462	1203	9,465	1204	9,462	1203
160											9,473	1280	9,438	1275	9,474	1280	9,476	1280	9,473	1280
165											9,483	1357	9,451	1353	9,485	1358	9,488	1358	9,484	1358
170											9,494	1436	9,465	1432	9,496	1436	9,5	1437	9,496	1436
175											9,504	1515	9,484	1512	9,508	1516	9,513	1517	9,508	1516
185											9,525	1678			9,533	1679	9,575	1683	9,57	1682
195											9,546	1847			9,599	1853				
205											9,567	2022								

Çizelge 7. TLÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı SES36’ye seçilen 10 farklı HT akışkanının farklı HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		Toluen		SES 36		R601		R601a		R365mfc	
$T_{EV,1}$ (°C)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95	8,117	318	8,116	318	8,117	318	8,117	318	8,119	318,1	8,122	318,2	8,083	316,7	8,119	318,1	8,12	318,1	8,12	318,1
100	8,134	382,9	8,13	382,8	8,131	382,8	8,131	382,8	8,133	382,9	8,136	383	8,096	381,2	8,133	382,9	8,134	382,9	8,134	382,9
105	8,152	448,4	8,145	448	8,145	448	8,145	448	8,147	448,1	8,15	448,3	8,109	446	8,147	448,1	8,148	448,1	8,147	448,1
110	8,174	514,6	8,16	513,7	8,159	513,7	8,159	513,7	8,16	513,8	8,163	513,9	8,122	511,4	8,16	513,8	8,161	513,8	8,161	513,8
115			8,175	580	8,174	579,9	8,174	579,9	8,174	580	8,177	580,1	8,134	577,2	8,174	579,9	8,175	580	8,174	580
120			8,191	646,9	8,189	646,7	8,188	646,7	8,189	646,7	8,19	646,9	8,147	643,5	8,188	646,7	8,189	646,8	8,188	646,7
125			8,209	714,6	8,204	714,2	8,203	714,1	8,203	714,1	8,204	714,1	8,16	710,4	8,201	713,9	8,203	714,1	8,201	713,9
130			8,228	783,1	8,221	782,4	8,218	782,1	8,217	782,1	8,217	782	8,173	777,9	8,215	781,8	8,217	782	8,215	781,8
135					8,24	851,5	8,234	850,9	8,232	850,8	8,231	850,6	8,186	846	8,229	850,4	8,23	850,6	8,228	850,3
140							8,25	920,5	8,248	920,2	8,244	919,8	8,199	914,9	8,242	919,6	8,244	919,8	8,242	919,6
145							8,268	991	8,265	990,6	8,257	989,8	8,212	984,4	8,256	989,6	8,258	989,9	8,255	989,5
150							8,291	1063	8,284	1062	8,27	1060	8,225	1055	8,27	1060	8,272	1061	8,269	1060
155											8,283	1132	8,239	1126	8,284	1132	8,287	1132	8,283	1132
160											8,297	1205	8,254	1198	8,298	1205	8,301	1205	8,297	1205
165											8,31	1278	8,269	1272	8,312	1278	8,316	1279	8,311	1278
170											8,323	1352	8,287	1347	8,326	1353	8,331	1354	8,326	1353
175											8,336	1428	8,31	1424	8,341	1429	8,347	1430	8,341	1429
185											8,362	1583			8,371	1585	8,424	1590	8,417	1589
195											8,388	1743			8,454	1751				
205											8,413	1910								

Çizelge 8. TLÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı R601’ken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklı HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		Toluen		SES 36		R601		R601a		R365mfc	
$T_{EV,1}$ (°C)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95	8,863	349,2	8,861	349,2	8,862	349,2	8,862	349,2	8,865	349,3	8,869	349,5	8,822	347,7	8,865	349,3	8,866	349,4	8,866	349,4
100	8,882	420,5	8,878	420,4	8,879	420,4	8,879	420,4	8,881	420,5	8,885	420,7	8,838	418,5	8,881	420,5	8,882	420,5	8,882	420,5
105	8,903	492,5	8,895	492,1	8,895	492,1	8,895	492,1	8,897	492,2	8,901	492,4	8,853	489,8	8,897	492,2	8,898	492,2	8,898	492,2
110	8,928	565,3	8,912	564,3	8,912	564,3	8,912	564,3	8,913	564,4	8,916	564,6	8,868	561,6	8,913	564,4	8,914	564,4	8,913	564,4
115			8,93	637,2	8,929	637,1	8,928	637,1	8,929	637,2	8,932	637,4	8,883	633,9	8,929	637,1	8,93	637,2	8,929	637,1
120			8,949	710,8	8,946	710,6	8,945	710,5	8,946	710,6	8,948	710,7	8,898	706,8	8,945	710,5	8,946	710,6	8,945	710,5
125			8,969	785,2	8,964	784,8	8,963	784,7	8,962	784,6	8,964	784,7	8,912	780,4	8,961	784,5	8,962	784,6	8,961	784,5
130			8,992	860,6	8,984	859,8	8,98	859,5	8,979	859,4	8,979	859,4	8,927	854,6	8,977	859,2	8,978	859,4	8,976	859,2
135					9,006	936	8,998	935,2	8,997	935	8,995	934,8	8,942	929,5	8,993	934,6	8,995	934,8	8,992	934,6
140							9,017	1012	9,015	1012	9,01	1011	8,958	1005	9,009	1011	9,011	1011	9,008	1011
145							9,038	1090	9,034	1089	9,026	1088	8,973	1082	9,024	1088	9,027	1088	9,024	1088
150							9,065	1169	9,057	1168	9,041	1166	8,988	1159	9,041	1166	9,043	1166	9,039	1166
155											9,056	1245	9,005	1238	9,057	1245	9,06	1245	9,056	1245
160											9,072	1325	9,022	1317	9,073	1325	9,077	1325	9,072	1325
165											9,087	1405	9,04	1398	9,089	1406	9,094	1406	9,088	1406
170											9,102	1487	9,061	1481	9,106	1488	9,112	1489	9,106	1488
175											9,117	1571	9,088	1566	9,123	1572	9,13	1573	9,121	1572
185											9,148	1741			9,159	1743	9,22	1749	9,212	1747
195											9,178	1918			9,255	1927				
205											9,208	2102								

Çizelge 9. TLÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı R601a'yken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklık HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		Toluen		SES 36		R601		R601a		R365mfc	
$T_{EV,1}$ (°C)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95	8,868	353,3	8,866	353,2	8,868	353,3	8,868	353,3	8,87	353,4	8,874	353,5	8,827	351,7	8,871	353,4	8,871	353,4	8,871	353,4
100	8,888	425,4	8,884	425,2	8,884	425,3	8,884	425,3	8,887	425,4	8,891	425,6	8,842	423,3	8,887	425,4	8,888	425,4	8,887	425,4
105	8,91	498,3	8,901	497,8	8,901	497,8	8,901	497,8	8,903	497,9	8,907	498,1	8,858	495,4	8,903	497,9	8,904	498	8,904	497,9
110	8,936	572	8,919	570,9	8,919	570,9	8,918	570,9	8,92	571	8,923	571,2	8,873	568,1	8,92	571	8,921	571,1	8,92	571
115			8,938	644,7	8,936	644,6	8,936	644,6	8,937	644,7	8,939	644,9	8,888	641,3	8,936	644,6	8,937	644,7	8,936	644,6
120			8,957	719,2	8,954	719	8,953	718,9	8,954	719	8,956	719,1	8,904	715,1	8,953	718,9	8,954	719	8,953	718,9
125			8,978	794,6	8,973	794,1	8,971	794	8,971	794	8,972	794,1	8,919	789,5	8,969	793,8	8,971	793,9	8,969	793,8
130			9,001	870,9	8,993	870,1	8,989	869,8	8,988	869,7	8,988	869,7	8,935	864,6	8,985	869,4	8,987	869,6	8,985	869,4
135					9,015	947,2	9,008	946,4	9,006	946,2	9,004	946	8,95	940,5	9,002	945,8	9,004	946	9,001	945,7
140							9,027	1024	9,025	1024	9,02	1023	8,966	1017	9,018	1023	9,02	1023	9,017	1023
145							9,049	1103	9,045	1102	9,036	1101	8,981	1095	9,035	1101	9,037	1101	9,034	1101
150							9,076	1183	9,068	1182	9,052	1180	8,998	1173	9,051	1180	9,054	1180	9,05	1180
155											9,067	1260	9,014	1253	9,068	1260	9,071	1260	9,067	1260
160											9,083	1341	9,032	1333	9,085	1341	9,089	1341	9,083	1341
165											9,099	1423	9,05	1415	9,101	1423	9,106	1424	9,1	1423
170											9,115	1506	9,072	1499	9,119	1506	9,124	1507	9,118	1506
175											9,13	1590	9,1	1585	9,136	1591	9,143	1592	9,137	1591
185											9,161	1763			9,173	1765	9,236	1771	9,228	1769
195											9,192	1942			9,272	1951				

Çizelge 10. TLÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı R365mfc'yken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklık HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		Toluen		SES 36		R601		R601a		R365mfc	
$T_{EV,1}$ (°C)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95	8,769	352,7	8,767	352,7	8,768	352,7	8,768	352,7	8,771	352,8	8,775	353	8,724	351	8,771	352,8	8,772	352,9	8,772	352,9
100	8,79	424,9	8,786	424,6	8,786	424,7	8,786	424,7	8,789	424,8	8,793	425	8,741	422,5	8,789	424,8	8,79	424,9	8,79	424,8
105	8,814	497,7	8,804	497,2	8,805	497,2	8,805	497,2	8,807	497,3	8,811	497,5	8,757	494,6	8,807	497,3	8,808	497,4	8,807	497,3
110	8,841	571,4	8,824	570,3	8,823	570,3	8,823	570,3	8,825	570,4	8,828	570,6	8,774	567,2	8,825	570,4	8,826	570,5	8,825	570,4
115			8,844	644,2	8,842	644	8,842	644	8,843	644,1	8,846	644,3	8,791	640,4	8,842	644,1	8,844	644,2	8,842	644,1
120			8,865	718,7	8,861	718,5	8,86	718,4	8,861	718,4	8,863	718,6	8,807	714,2	8,86	718,4	8,861	718,5	8,86	718,4
125			8,887	794,2	8,882	793,7	8,88	793,5	8,879	793,5	8,881	793,6	8,824	788,7	8,878	793,4	8,879	793,5	8,877	793,3
130			8,912	870,7	8,903	869,8	8,899	869,4	8,898	869,4	8,898	869,3	8,84	863,9	8,895	869,1	8,897	869,3	8,895	869
135					8,928	947,1	8,919	946,2	8,918	946	8,915	945,8	8,857	939,8	8,913	945,6	8,915	945,8	8,912	945,5
140							8,941	1024	8,938	1024	8,933	1023	8,874	1017	8,931	1023	8,933	1023	8,93	1023
145							8,964	1103	8,959	1102	8,95	1101	8,891	1094	8,948	1101	8,951	1101	8,947	1101
150							8,993	1184	8,984	1183	8,967	1180	8,908	1173	8,966	1180	8,97	1181	8,965	1180
155											8,984	1260	8,926	1252	8,984	1260	8,988	1261	8,983	1260
160											9,001	1341	8,945	1333	9,002	1342	9,007	1342	9,001	1341
165											9,018	1424	8,966	1416	9,021	1424	9,026	1425	9,02	1424
170											9,035	1507	8,989	1499	9,039	1508	9,045	1509	9,039	1508
175											9,052	1592	9,019	1586	9,058	1593	9,066	1594	9,058	1593
185											9,085	1765			9,098	1767	9,166	1774	9,157	1772
195											9,119	1945			9,205	1955				

EK-3 ORÇ – ORÇ Çalışma Akışkan Analizi

Çizelge 1. ORÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı Toluen’ken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklık HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		R365mfc		SES 36		R601a		R601		Toluen	
$T_{EV,1}$ (°C)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95	9,382	342,6	9,415	342,6	9,419	342,5	9,422	342,8	9,422	342,9	9,432	342,8	9,405	342,4	9,432	342,9	9,431	342,9	9,435	343,6
100	9,388	412,1	9,429	412,2	9,433	412,1	9,437	412,5	9,437	412,6	9,449	412,5	9,42	412	9,449	412,6	9,449	412,7	9,451	404,9
105	9,389	481,8	9,441	482,2	9,447	482,1	9,452	482,7	9,452	482,7	9,466	482,7	9,435	482,1	9,466	482,9	9,466	483	9,467	466,5
110	9,383	551,7	9,453	552,6	9,46	552,6	9,466	553,3	9,466	553,3	9,483	553,4	9,448	552,6	9,483	553,5	9,483	553,7	9,482	528,4
115			9,463	623,5	9,471	623,4	9,48	624,3	9,479	624,3	9,499	624,5	9,461	623,6	9,499	624,7	9,5	624,9	9,498	590,8
120			9,471	694,7	9,481	694,7	9,492	695,8	9,491	695,9	9,515	696,2	9,474	695	9,515	696,4	9,516	696,6	9,513	653,6
125			9,476	766,3	9,49	766,4	9,503	767,8	9,503	767,9	9,531	768,4	9,486	767	9,531	768,7	9,532	768,9	9,528	716,9
130			9,476	838,1	9,495	838,6	9,513	840,3	9,513	840,4	9,546	841,2	9,497	839,5	9,546	841,5	9,548	841,8	9,543	780,6
135					9,493	910,9	9,522	913,3	9,522	913,4	9,56	914,6	9,507	912,6	9,56	914,9	9,563	915,4	9,557	844,8
140							9,528	986,8	9,529	986,9	9,574	988,6	9,516	986,3	9,574	989	9,577	989,5	9,572	909,5
145							9,529	1061	9,533	1061	9,588	1063	9,525	1061	9,588	1064	9,591	1064	9,586	974,8
150							9,519	1134	9,531	1135	9,6	1139	9,532	1135	9,601	1139	9,605	1140	9,601	1041
155											9,613	1215	9,537	1211	9,613	1216	9,618	1216	9,615	1107
160											9,624	1292	9,541	1287	9,624	1293	9,63	1294	9,629	1174
165											9,634	1370	9,541	1364	9,635	1371	9,641	1372	9,643	1242
170											9,643	1449	9,537	1441	9,644	1449	9,652	1451	9,656	1311
175											9,65	1528	9,526	1519	9,651	1529	9,661	1531	9,67	1380
185															9,651	1691	9,674	1694	9,73	1708

195	9,668	1860	9,759	1880
205			9,788	2059
215			9,816	2246
225			9,843	2442

Çizelge 2. TLÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı R236ea'yken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklık HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		Toluen		SES 36		R601		R601a		R365mfc	
T _{EV,1} (°C)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95			8,786	369,7	8,793	369,5	8,798	370,1	8,798	370,2	8,82	371,8	8,769	369,3	8,814	370,3	8,815	370,2	8,815	370
100			8,81	445,3	8,819	445,1	8,825	445,9	8,826	446	8,852	448,2	8,795	445	8,846	446,2	8,846	446,1	8,846	445,8
105			8,833	521,5	8,843	521,2	8,852	522,4	8,852	522,5	8,884	525,3	8,82	521,3	8,876	522,8	8,876	522,6	8,876	522,3
110			8,854	598,3	8,866	598	8,877	599,4	8,876	599,6	8,915	603,2	8,844	598,2	8,906	600,1	8,905	599,8	8,905	599,5
115			8,872	675,6	8,887	675,4	8,9	677,1	8,9	677,3	8,945	681,9	8,868	675,7	8,935	678,1	8,934	677,8	8,934	677,3
120			8,887	753,4	8,905	753,3	8,922	755,5	8,922	755,6	8,975	761,3	8,89	753,9	8,964	756,8	8,962	756,4	8,962	755,9
125			8,897	831,6	8,92	831,7	8,943	834,4	8,942	834,5	9,005	841,7	8,911	832,9	8,992	836,3	8,99	835,7	8,989	835,2
130			8,897	910,1	8,93	910,6	8,961	914	8,96	914,1	9,035	922,9	8,93	912,5	9,019	916,6	9,016	915,9	9,016	915,2
135					8,929	989,7	8,976	994,3	8,976	994,4	9,064	1005	8,949	992,8	9,045	997,7	9,042	996,8	9,041	996,1
140							8,988	1075	8,989	1075	9,093	1088	8,966	1074	9,071	1080	9,067	1079	9,066	1078
145							8,992	1156	8,998	1157	9,121	1172	8,981	1156	9,096	1163	9,091	1161	9,09	1160
150							8,978	1237	8,996	1238	9,149	1257	8,994	1238	9,12	1246	9,114	1245	9,113	1244
155											9,177	1344	9,004	1321	9,143	1331	9,136	1329	9,135	1328
160											9,204	1431	9,011	1405	9,165	1417	9,156	1415	9,155	1413
165											9,232	1520	9,013	1490	9,186	1504	9,175	1501	9,174	1500
170											9,259	1610	9,008	1574	9,205	1592	9,192	1588	9,19	1587

Çizelge 3. ORÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı R152a'yken seçilen 10 farklı çalışma akışkanının farklı evaporatör 1 sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		R365mfc		SES 36		R601a		R601		Toluen	
$T_{EV,1}$ (°C)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95	8,793	365,6	8,849	365,8	8,845	365,3	8,862	366	8,849	365,9	8,867	365,7	8,826	365,2	8,863	365,9	8,862	366	8,867	367,1
100	8,801	440	8,871	440,5	8,866	439,8	8,888	440,8	8,871	440,6	8,892	440,5	8,847	439,8	8,888	440,7	8,888	440,8	8,893	442,3
105	8,803	514,7	8,892	515,8	8,885	514,9	8,912	516,2	8,892	515,9	8,917	515,8	8,867	514,9	8,912	516	8,912	516,2	8,919	518,1
110	8795	589,6	8,913	591,6	8,904	590,5	8,937	592,2	8,912	591,7	8,941	591,7	8,887	590,6	8,936	592	8,937	592,2	8,944	594,6
115			8,932	668	8,92	666,6	8,96	668,8	8,931	668,1	8,965	668,2	8,905	666,9	8,959	668,5	8,96	668,8	8,969	671,8
120			8,949	744,9	8,935	743,2	8,983	746,1	8,949	745	8,988	745,3	8,923	743,7	8,982	745,7	8,983	746,1	8,993	749,7
125			8,966	822,5	8,947	820,3	9,006	824,1	8,965	822,6	9,01	823,1	8,94	821,2	9,004	823,6	9,006	824,1	9,017	828,3
130			8,98	900,6	8,954	897,9	9,028	902,8	8,98	900,7	9,032	901,6	8,956	899,4	9,026	902,2	9,028	902,8	9,041	907,7
135					8,954	975,6	9,049	982,2	8,993	979,4	9,052	980,9	8,971	978,2	9,047	981,5	9,049	982,2	9,065	988
140							9,07	1062	9,003	1059	9,073	1061	8,984	1058	9,067	1062	9,07	1062	9,088	1069
145							9,09	1143	9,009	1139	9,092	1142	8,996	1138	9,086	1142	9,09	1143	9,111	1151
150							9,11	1225	9,008	1219	9,11	1223	9,007	1219	9,105	1224	9,11	1225	9,134	1234
155											9,127	1306	9,015	1300	9,122	1307	9,128	1308	9,157	1318
160											9,143	1389	9,02	1383	9,139	1390	9,146	1392	9,179	1403
165											9,157	1474	9,022	1465	9,154	1475	9,163	1477	9,201	1490
170											9,169	1559	9,017	1548	9,167	1560	9,178	1563	9,223	1577
175											9,178	1646	9,001	1631	9,178	1647	9,191	1649	9,245	1666

Çizelge 4. ORÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı 600’yken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklı HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		R365mfc		SES 36		R601a		R601		Toluen	
$T_{EV,1}$ (°C)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95	8,91	361,4	8,957	361,2	8,963	361,1	8,968	361,6	8,968	361,7	8,982	361,5	8,943	360,9	8,982	361,7	8,981	361,7	8,987	362,9
100	8,918	434,9	8,978	434,9	8,985	434,8	8,991	435,5	8,991	435,6	9,008	435,4	8,965	434,7	9,008	435,6	9,008	435,7	9,013	437,3
105	8,92	508,7	8,997	509,2	9,005	509	9,013	509,9	9,012	510	9,033	509,9	8,986	509	9,033	510,1	9,033	510,3	9,04	512,3
110	8,911	582,7	9,014	583,9	9,024	583,7	9,034	584,9	9,033	585	9,058	584,9	9,007	583,8	9,058	585,2	9,058	585,5	9,066	587,9
115			9,029	659,1	9,042	659	9,053	660,4	9,053	660,5	9,082	660,6	9,026	659,3	9,082	661	9,083	661,3	9,092	664,3
120			9,042	734,8	9,057	734,8	9,072	736,5	9,071	736,6	9,106	737	9,045	735,3	9,106	737,4	9,107	737,7	9,117	741,3
125			9,05	810,9	9,069	811	9,089	813,2	9,088	813,3	9,128	813,9	9,062	811,9	9,129	814,4	9,131	814,9	9,143	819,1
130			9,049	887,2	9,077	887,7	9,104	890,5	9,104	890,6	9,151	891,6	9,079	889,2	9,151	892,1	9,153	892,7	9,167	897,7
135					9,076	964,6	9,117	968,4	9,117	968,5	9,172	970	9,094	967,2	9,173	970,6	9,176	971,3	9,192	977,2
140							9,126	1047	9,128	1047	9,193	1049	9,108	1046	9,194	1050	9,197	1051	9,216	1057
145							9,129	1126	9,134	1126	9,213	1129	9,121	1125	9,214	1130	9,218	1131	9,24	1139
150							9,116	1204	9,133	1205	9,232	1210	9,131	1205	9,233	1211	9,239	1212	9,264	1221
155											9,251	1292	9,14	1286	9,251	1293	9,258	1294	9,287	1304
160											9,268	1374	9,145	1367	9,268	1375	9,276	1377	9,31	1388
165											9,283	1458	9,147	1449	9,284	1459	9,293	1461	9,333	1474
170											9,296	1542	9,142	1531	9,298	1543	9,309	1546	9,356	1561
175											9,307	1628	9,126	1613	9,309	1629	9,323	1632	9,378	1649
185															9,311	1802	9,343	1807	9,423	1829

Çizelge 5. ORÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı R600a'yken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklık HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		Toluen		SES 36		R601		R601a		R365mfc	
$T_{EV,1}$ (°C)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95			8,822	367,7	8,828	367,6	8,833	368,2	8,834	368,2	8,854	369,6	8,807	367,4	8,848	368,3	8,849	368,2	8,849	368
100			8,844	442,9	8,852	442,7	8,858	443,5	8,858	443,6	8,883	445,5	8,831	442,6	8,877	443,7	8,877	443,6	8,877	443,4
105			8,865	518,6	8,874	518,3	8,882	519,4	8,882	519,5	8,912	522	8,853	518,3	8,904	519,8	8,904	519,6	8,904	519,3
110			8,884	594,8	8,895	594,6	8,905	595,8	8,905	596	8,94	599,3	8,876	594,7	8,932	596,5	8,931	596,2	8,931	595,9
115			8,901	671,5	8,914	671,3	8,926	672,9	8,926	673	8,968	677,2	8,897	671,7	8,958	673,8	8,957	673,5	8,957	673,1
120			8,914	748,7	8,93	748,6	8,947	750,6	8,946	750,7	8,995	756	8,917	749,3	8,984	751,9	8,983	751,5	8,983	751
125			8,923	826,4	8,944	826,5	8,965	828,9	8,964	829	9,023	835,5	8,936	827,5	9,01	830,7	9,008	830,2	9,008	829,6
130			8,923	904,2	8,953	904,8	8,982	907,9	8,981	908	9,05	915,9	8,954	906,4	9,035	910,2	9,032	909,6	9,032	909
135					8,952	983,2	8,996	987,4	8,996	987,5	9,076	997,1	8,971	986,1	9,059	990,6	9,056	989,7	9,055	989,1
140							9,006	1067	9,007	1068	9,102	1079	8,986	1066	9,082	1072	9,078	1071	9,078	1070
145							9,01	1148	9,015	1148	9,128	1162	9	1147	9,105	1154	9,1	1153	9,1	1152
150							8,996	1228	9,013	1229	9,154	1247	9,011	1229	9,127	1237	9,121	1235	9,121	1234
155											9,179	1332	9,021	1312	9,148	1321	9,141	1319	9,14	1318
160											9,204	1418	9,027	1395	9,168	1405	9,16	1403	9,159	1402
165											9,229	1506	9,029	1478	9,187	1491	9,177	1489	9,176	1488
170											9,254	1595	9,024	1562	9,204	1578	9,192	1575	9,191	1574
175											9,278	1685	9,006	1646	9,22	1666	9,204	1663	9,202	1662

Çizelge 6. ORÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı R245fa'yken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklık HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		Toluen		SES 36		R601		R601a		R365mfc	
$T_{EV,1}$ (°C)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95			8,995	364,2	9,001	364	9,006	364,6	9,006	364,7	9,026	366	8,98	363,9	9,021	364,7	9,021	364,6	9,021	364,5
100			9,017	438,6	9,024	438,4	9,031	439,1	9,031	439,2	9,055	441,1	9,003	438,3	9,049	439,4	9,049	439,3	9,049	439,1
105			9,037	513,5	9,046	513,3	9,054	514,2	9,054	514,3	9,083	516,8	9,026	513,3	9,076	514,7	9,076	514,5	9,076	514,2
110			9,056	588,9	9,067	588,7	9,076	589,9	9,076	590	9,111	593,2	9,048	588,8	9,103	590,6	9,102	590,3	9,102	590
115			9,072	664,8	9,085	664,7	9,098	666,2	9,097	666,3	9,138	670,3	9,068	665	9,129	667,1	9,128	666,8	9,128	666,4
120			9,085	741,2	9,101	741,2	9,117	743,1	9,116	743,2	9,165	748,2	9,088	741,8	9,155	744,3	9,153	743,9	9,153	743,5
125			9,094	818,1	9,115	818,2	9,135	820,5	9,135	820,6	9,192	826,8	9,107	819,2	9,18	822,3	9,178	821,8	9,177	821,3
130			9,094	895,1	9,123	895,6	9,152	898,6	9,151	898,7	9,219	906,3	9,125	897,3	9,204	900,9	9,201	900,3	9,201	899,7
135					9,122	973,3	9,165	977,3	9,165	977,4	9,245	986,6	9,141	976	9,228	980,4	9,225	979,6	9,224	979
140							9,175	1056	9,177	1057	9,271	1068	9,156	1055	9,251	1061	9,247	1060	9,246	1059
145							9,179	1136	9,184	1136	9,296	1150	9,169	1136	9,273	1142	9,268	1141	9,268	1140
150							9,165	1215	9,182	1216	9,321	1233	9,181	1216	9,295	1224	9,289	1222	9,288	1222
155											9,346	1317	9,19	1298	9,315	1307	9,308	1305	9,308	1304
160											9,371	1403	9,196	1380	9,335	1390	9,327	1389	9,326	1388
165											9,395	1489	9,198	1463	9,353	1475	9,343	1473	9,342	1472
170											9,419	1577	9,192	1546	9,37	1561	9,358	1559	9,357	1558
175											9,443	1666	9,175	1629	9,385	1648	9,37	1645	9,368	1644
185											9,49	1849			9,407	1826	9,373	1820	9,368	1819

Çizelge 7. ORÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı SES36'yken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklık HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		SES 36		R365mfc		R601a		R601		Toluen	
$T_{EV,1}$ (°C)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95	8,184	321,3			8,229	321,3	8,233	321,7	8,233	321,8	8,213	321,2	8,245	321,7	8,245	321,8	8,245	321,9	8,249	322,7
100	8,191	386,6			8,247	386,9	8,252	387,4	8,252	387,5	8,231	386,7	8,267	387,4	8,267	387,6	8,266	387,7	8,271	388,8
105	8,193	452,2			8,264	452,8	8,27	453,5	8,27	453,6	8,249	452,7	8,288	453,6	8,288	453,8	8,288	453,9	8,294	455,4
110	8,185	517,8			8,28	519,3	8,288	520,1	8,288	520,2	8,266	519,2	8,308	520,4	8,309	520,6	8,309	520,7	8,316	522,5
115					8,295	586,1	8,304	587,2	8,304	587,3	8,282	586,2	8,329	587,6	8,329	587,9	8,33	588,1	8,337	590,3
120					8,307	653,4	8,32	654,8	8,319	654,9	8,297	653,7	8,348	655,4	8,348	655,7	8,35	656	8,358	658,6
125					8,317	721,2	8,334	722,9	8,333	723	8,312	721,8	8,367	723,8	8,368	724,1	8,369	724,5	8,38	727,7
130					8,324	789,3	8,347	791,5	8,346	791,6	8,326	790,4	8,386	792,8	8,386	793,2	8,388	793,6	8,4	797,3
135					8,323	857,5	8,357	860,6	8,357	860,7	8,338	859,6	8,404	862,4	8,404	862,8	8,407	863,4	8,421	867,7
140							8,365	930,2	8,366	930,3	8,35	929,3	8,421	932,7	8,422	933,2	8,425	933,9	8,441	938,9
145							8,367	1000	8,371	1000	8,36	999,7	8,438	1004	8,439	1004	8,442	1005	8,461	1011
150							8,355	1069	8,369	1070	8,369	1071	8,454	1075	8,455	1076	8,459	1077	8,481	1084
155											8,376	1142	8,469	1148	8,47	1149	8,475	1150	8,501	1157
160											8,381	1214	8,483	1221	8,484	1222	8,491	1223	8,52	1232
165											8,382	1287	8,496	1295	8,497	1296	8,505	1298	8,539	1308
170											8,377	1360	8,507	1370	8,508	1371	8,518	1373	8,558	1385
175											8,363	1432	8,516	1446	8,517	1447	8,53	1449	8,577	1462
185											tkr	8,514	1599	8,518	1600	8,546	1605	8,614	1622	
195											tkr	tkr	tkr	tkr	8,54	1762	8,605	1788		
205															tkr	tkr	8,686	1960		

Çizelge 8. ORÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı R601’ken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklık HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		SES 36		R601a		R365mfc		R601		Toluen	
$T_{EV,1}$ (°C)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95	8,94	353,2	8,987	353,1	8,992	352,9	8,997	353,4	8,997	353,5	8,973	352,8	9,011	353,5	9,011	353,4	9,01	353,6	9,015	354,7
100	8,948	425	9,007	425,1	9,014	425	9,019	425,6	9,019	425,7	8,995	424,9	9,036	425,8	9,036	425,6	9,036	425,9	9,042	427,3
105	8,951	497,2	9,025	497,7	9,033	497,5	9,041	498,3	9,041	498,4	9,015	497,5	9,061	498,6	9,061	498,4	9,061	498,7	9,067	500,6
110	8,942	569,4	9,042	570,7	9,052	570,5	9,061	571,6	9,061	571,7	9,035	570,6	9,085	572	9,085	571,7	9,085	572,2	9,093	574,5
115			9,057	644,1	9,069	644	9,08	645,4	9,08	645,5	9,054	644,3	9,108	646	9,108	645,6	9,109	646,2	9,118	649
120			9,069	718,1	9,084	718,1	9,098	719,7	9,098	719,8	9,072	718,5	9,131	720,6	9,131	720,2	9,133	720,9	9,143	724,3
125			9,076	792,4	9,095	792,6	9,115	794,7	9,114	794,7	9,089	793,4	9,154	795,8	9,153	795,4	9,155	796,3	9,167	800,2
130			9,076	866,9	9,103	867,5	9,129	870,1	9,129	870,2	9,105	868,9	9,175	871,7	9,175	871,3	9,178	872,3	9,191	877
135					9,102	942,6	9,142	946,2	9,142	946,3	9,12	945	9,196	948,4	9,196	947,9	9,199	949,1	9,215	954,5
140							9,151	1023	9,152	1023	9,133	1022	9,217	1026	9,216	1025	9,22	1027	9,239	1033
145							9,154	1100	9,159	1100	9,146	1099	9,236	1104	9,236	1103	9,241	1105	9,262	1112
150							9,141	1176	9,157	1177	9,156	1177	9,255	1183	9,254	1182	9,26	1184	9,285	1192
155											9,164	1256	9,272	1263	9,272	1262	9,279	1264	9,308	1274
160											9,169	1336	9,289	1343	9,288	1343	9,297	1345	9,33	1356
165											9,171	1416	9,304	1425	9,303	1424	9,313	1427	9,352	1439
170											9,166	1496	9,318	1508	9,316	1507	9,329	1510	9,374	1524
175											9,15	1576	9,328	1591	9,327	1590	9,342	1594	9,396	1610
185											tkr		9,33	1760	9,326	1759	9,361	1765	9,439	1786
195													tkr		tkr		9,355	1939	9,481	1968
205																	deltat<5		9,522	2158

Çizelge 9. ORÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı R601a'yken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklık HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		Toluen		SES 36		R601		R601a		R365mfc	
T _{EV,1} (°C)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	η _{b,th} (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95	8,948	357,4	8,996	357,3	9,001	357,1	9,006	357,6	9,006	357,7	9,025	358,9	8,982	357	9,02	357,8	9,021	357,7	9,02	357,5
100	8,956	430,1	9,016	430,2	9,023	430	9,029	430,7	9,029	430,8	9,052	432,5	9,004	429,9	9,046	430,9	9,046	430,8	9,046	430,6
105	8,959	503,1	9,035	503,6	9,044	503,4	9,051	504,3	9,051	504,4	9,078	506,6	9,025	503,4	9,072	504,7	9,072	504,5	9,072	504,3
110	8,95	576,3	9,053	577,5	9,063	577,3	9,072	578,5	9,072	578,5	9,105	581,5	9,045	577,4	9,097	579,1	9,097	578,8	9,096	578,6
115			9,068	651,9	9,08	651,8	9,092	653,2	9,091	653,3	9,13	657	9,065	652	9,122	654	9,121	653,7	9,12	653,4
120			9,08	726,7	9,095	726,7	9,11	728,4	9,11	728,5	9,156	733,2	9,083	727,2	9,146	729,7	9,144	729,3	9,144	728,9
125			9,088	802	9,108	802,1	9,127	804,3	9,127	804,4	9,181	810,1	9,101	803	9,169	806	9,167	805,5	9,167	805
130			9,088	877,4	9,116	878	9,143	880,7	9,142	880,8	9,206	887,8	9,117	879,5	9,192	883	9,19	882,4	9,189	881,9
135					9,115	954	9,155	957,8	9,155	957,9	9,23	966,4	9,133	956,6	9,214	960,7	9,211	960	9,211	959,4
140							9,165	1035	9,166	1035	9,255	1046	9,147	1034	9,236	1039	9,232	1038	9,232	1038
145							9,168	1113	9,173	1114	9,279	1126	9,159	1113	9,257	1119	9,252	1118	9,252	1117
150							9,155	1191	9,171	1192	9,302	1207	9,17	1192	9,277	1199	9,272	1198	9,271	1197
155											9,326	1290	9,178	1272	9,296	1280	9,29	1278	9,289	1278
160											9,349	1373	9,184	1352	9,315	1362	9,307	1360	9,306	1359
165											9,372	1458	9,185	1433	9,332	1445	9,323	1443	9,322	1442
170											9,395	1543	9,18	1514	9,348	1529	9,336	1526	9,335	1526
175											9,417	1631	9,164	1595	9,362	1614	9,348	1611	9,346	1610
185											9,461	1809	tkr		9,382	1787	9,35	1782	9,345	1781
195											9,505	1994			9,376	1963		tkr		tkr
205											deltat<5				tkr					

Çizelge 10. ORÇ – ORÇ sisteminde LT akışkanı R365mfc'yken seçilen 10 farklı HT akışkanının farklık HT evap sıcaklıklarındaki ısı verim ve güç çıkış değerleri

HTA:	R152a		R600a		R236ea		R600		R245fa		Toluen		SES 36		R601		R601a		R365mfc	
$T_{EV,1}$ (°C)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)	$\eta_{b,th}$ (%)	$\dot{W}_{net}$ (kW)
95			8,906	357,1	8,912	356,9	8,833	8,917	8,918	357,5	8,938	358,9	8,891	356,8	8,932	357,6	8,933	357,5	8,933	357,4
100			8,928	430	8,936	429,8	8,858	8,935	8,942	430,7	8,967	432,5	8,915	429,7	8,96	430,8	8,961	430,7	8,961	430,5
105			8,949	503,5	8,958	503,3	8,882	8,951	8,966	504,3	8,995	506,8	8,937	503,3	8,988	504,7	8,988	504,5	8,988	504,2
110			8,968	577,5	8,979	577,3	8,905	8,967	8,988	578,6	9,023	581,7	8,959	577,4	9,015	579,1	9,015	578,9	9,015	578,6
115			8,984	651,9	8,997	651,8	8,926	8,983	9,009	653,4	9,051	657,4	8,98	652,1	9,042	654,3	9,041	653,9	9,041	653,6
120			8,997	726,9	9,014	726,9	8,947	8,998	9,029	728,8	9,079	733,8	9	727,4	9,068	730	9,066	729,6	9,066	729,2
125			9,006	802,2	9,027	802,4	8,965	9,013	9,047	804,8	9,106	811	9,019	803,4	9,093	806,5	9,091	806	9,091	805,5
130			9,006	877,8	9,036	878,4	8,982	9,026	9,064	881,5	9,133	889	9,037	880	9,118	883,8	9,115	883,1	9,115	882,6
135					9,035	954,5	8,996	9,039	9,079	958,7	9,159	967,9	9,054	957,2	9,142	961,7	9,139	961	9,138	960,3
140							9,006	9,052	9,09	1036	9,185	1048	9,069	1035	9,165	1041	9,161	1040	9,161	1039
145							9,01	9,063	9,098	1115	9,211	1128	9,083	1114	9,188	1120	9,183	1119	9,182	1118
150							8,996	9,073	9,096	1193	9,236	1210	9,094	1193	9,21	1201	9,204	1199	9,203	1198
155											9,262	1293	9,103	1273	9,23	1282	9,223	1280	9,223	1280
160											9,287	1377	9,11	1354	9,25	1364	9,242	1362	9,241	1362
165											9,311	1462	9,111	1435	9,269	1448	9,259	1445	9,258	1445
170											9,336	1548	9,106	1516	9,286	1532	9,274	1529	9,272	1528
175											9,36	1635	9,089	1598	9,301	1618	9,286	1614	9,284	1613
185											9,408	1815	tkr		9,323	1792	9,289	1786	9,284	1785
195											9,454	2001			9,317	1968	tkr		tkr	
205											deltat<5				tkr					

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Özçelik
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Çankaya 11.02.1993
Telefon : 05415636393
Faks : -
E-Posta : mehmetozcelik61@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Selahaddini Eyyubi Anadolu Lisesi	Yenişehir –		
		Diyarbakır	2011	
Üniversite	: Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine			
		Mühendisliği	2017	
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim			
	: Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı (2018			
	- ...)			
Doktora	:			

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

“Investigation of the combined TLC-ORC and the combined ORC-ORC power systems”, M. Özçelik, N. Bilir Sağ ICENTE 19, 26.10.2019