

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**JEOTERMAL ENERJİ KAYNAKLI BİRLEŞİK ISI-GÜÇ SİSTEMLERİNİN
TERMODİNAMİK ANALİZİ**

DOKTORA TEZİ

Can COŞKUN

Balıkesir, Nisan-2011

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

JEOTERMAL ENERJİ KAYNAKLI BİRLEŞİK ISI-GÜÇ SİSTEMLERİNİN
TERMODİNAMİK ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

Can COŞKUN

Tez danışmanı: Doç.Dr. Zuhal OKTAY
Prof. Dr. İbrahim DİNÇER

Sınav Tarihi: 01.04.2011

Jüri üyeleri: Prof. Dr. Hikmet KARAKOÇ

(A.Ü)

Doç. Dr. Zuhal OKTAY

(Danışman-BA.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin GÜNERHAN

(E.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Enver YALÇIN

(BA.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Nadir İLTEN

(BA.Ü)

Balıkesir, Nisan-2011

ÖZET

JEOTERMAL ENERJİ KAYNAKLI BİRLEŞİK ISI-GÜÇ SİSTEMLERİNİN TERMODİNAMİK ANALİZİ

Can COŞKUN
Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

(Doktora Tezi / Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zuhal OKTAY, Prof. Dr. İbrahim DİNÇER)

Balıkesir, Türkiye, 2011

Bu çalışmada, jeotermal enerji kaynaklı onüç farklı kombinasyonda bütünleşik çoklu kullanım sistemlerinin termodinamik modellenmesi ve analizi gerçekleştirilmiştir. Uygulamalar ana hatlarıyla dört farklı ana grup altında incelenmiştir. Bu gruplar sırasıyla; (i) ısıtma dönemi için uygulamalar, (ii) soğutma dönemi için uygulamalar, (iii) elektrik üretimi birleşik sistemler ve (iv) elektrik üretimi hariç sistemlerdir. Çalışma sırasında her bir enerji sistemi için detaylı iş akış grafikleri ve tablolar oluşturulmuştur. Tüm sistem ve elemanları için enerji ve ekserji verimleri tespit edilerek detaylı bir biçimde verilmiştir. Ayrıca dış referans çevre sıcaklık dağılımına bağlı olarak ekserji verim değerindeki yüzdesel değişim ve ortalama ekserji verimleri tespit edilmiştir. Bu tarz bir yaklaşıma literatürde henüz raslanmamıştır. Bu çalışmada literatüre katkı sağlaması düşünülen üç yeni ekserjetik parametre de verilmektedir. Bunlar sırasıyla: Toplam Ekserji Yıkım Oranı, Sistem Elemanları Ekserji Yıkım Oranı ve Boyutsuz Ekserji Yıkım Oranı'dır. Bu üç parametre için detaylı grafikler her bir sistem için ayrıntılı verilmektedir. Bu çalışmada her bir sistem elemanı ve toplamda oluşan iyileştirilebilirlik potansiyelleri hesaplanarak verilmiştir. Jeotermal enerji sistemleri için literatüre yakın bir dönemde tanıtılan enerjetik yenilenebilirlik oranı, ekserjetik yenilenebilirlik oranı, sistem enerjetik reenjeksiyon oranı ve sistem ekserjetik reenjeksiyon oranı olarak adlandırılan parametrelerin de detaylı incelemesi yapılmıştır. Böylece sistemler arasında daha sağlıklı bir karşılaştırma yapılabilme olanağı ortaya çıkmış bulunmaktadır.

Tüm bu modelleme ve analizler sonucunda literatürde ilk kez bu kadar kapsamlı bir analiz oluşturulmuştur. Bu konuda çalışma yapacak araştırmacılara ve uygulamacılara yön gösterici bir çalışma olmuştur. Elde edilen sonuçların ana hatları kısaca şu şekilde verilebilir: (i) Elektrik üretimi ile bütünleşik sistemler, elektrik üretimiyle entegre edilmemiş sistemlerle karşılaştırıldığında ekserji verim değerlerinde kayda değer bir azalmanın olduğu görülmektedir. Elektrik üretimiyle birleşik sistemlerin aksine ekserji verimleri hiçbir surette enerji verimlerinin üzerine çıkamamaktadır. Elektrik üretimi birleşik sistem ekserjetik verimlerinin yukarı çekilmesinde oldukça pozitif bir katkı sağlamaktadır. (ii) Tüm sistemler için ekserji verimleri % 10 ile % 60 arasında değişim göstermektedir. Enerji verim değerleri ise % 7 ile % 80 arasında değişmektedir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Jeotermal enerji / bütünleşik çoklu kullanım / enerji / ekserji.

ABSTRACT

THERMODYNAMIC ANALYSIS of GEOTHERMAL ENERGY BASED COMBINED HEAT and POWER SYSTEMS

Can COŞKUN

**Balıkesir University, Institute of Science,
Department of Mechanical Engineering**

(Ph. D. Thesis / Supervisor: Doç. Dr. Zuhâl OKTAY, Prof. Dr. İbrahim DİNÇER)

Balıkesir-Turkey, 2011

In this study, thermodynamic modelling and analysis of geothermal energy based multi-generation systems which are embedded in thirteen different combinations are performed. Systems are mainly examined under four distinct main groups. These groups are (i) applications for heating period, (ii) applications for cooling period, (iii) systems with embedded electricity generation and (vi) systems excluding electricity generation. During this study, detailed work flow charts and tables are prepared for each energy system. Energetic and exergetic efficiencies are detected for the whole system and its components and presented in detail. Furthermore, percentage change in exergetic efficiency value and average exergetic efficiencies are detected depending on outdoor reference ambient temperature distribution. Such a new approach is yet to be present in the literature. In this study three different exergetic parameters, which are expected to contribute to the literature, are also given. These are Total Exergy Destruction Ratio, Component Exergy Destruction Ratio, and Dimensionless Exergy Destruction. For each system detailed graphs for all these three parameters are given. Improvement potentials for every system component and the overall potential are calculated and presented in the study. Moreover, parameters introduced previously to the literature for geothermal energy systems are studied in detail. These four parameters are energetic renewability rate, exergetic renewability rate, system energetic re-injection rate and system exergetic re-injection rate. By this way, it is made possible to make a more reliable comparison between the systems.

As a result of all the modeling and analyses such a comprehensive analysis is prepared for the first time in the literature. In this way a study which will serve as a beacon for the researchers working on this subject is produced. In general terms the obtained results can be given as follows; (i) When systems with embedded electricity generation are compared with systems integrated with electricity generation a substantial decrease in exergetic efficiency values is observed. Contrary to systems combined with electricity generation exergetic efficiencies cannot surpass energy efficiencies in any way. System combined with electricity generation has a significant positive effect in increasing exergetic efficiencies. (ii) For all systems, exergy efficiencies vary between 10 % and 60 %. Energy efficiency values on the other hand vary between 7 % and 80 %.

KEY WORDS: Geothermal energy / integrated multi-utilization / energy / exergy.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEY WORDS	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL ve KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÖNSÖZ	xvi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	4
2.1 Merkezi Isıtma ve Sıcak Su Eldesi Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	4
2.2 Jeotermal Enerji Kaynaklı Sera Isıtması Üzerine Yapılan Çalışmalar	9
2.3 Jeotermal Enerji Kaynaklı Absorpsiyonlu Soğutma Üzerine Yapılan Çalışmalar	11
2.4 Jeotermal Enerji Kaynaklı Elektrik Üretimi Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	12
2.5 Çoklu Kullanım Üzerine Yapılan Çalışmalar	17
3. GENEL BİLGİLER.....	19
3.1 Absorpsiyonlu Soğutma Sistemleri	19
3.2 Jeotermal Güç Santralleri	20
4. TUZLA JEOTERMAL GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİ	22
4.1 Sistem ve Elemanları	22
4.2 Sistemden Gerekli Ölçümlerim Alınması.....	29
5. MODELLEME ve ANALİZ	31
5.1 Kabuller	31
5.2 Enerji Analizi.....	31
5.3 Ekserji Analizi	32
5.4 Absorpsiyonlu Soğutma Çevrimi İçin Temel Kavramlar	34
5.4.1 Soğutma tesiri katsayısı (STK).....	34
5.4.2 Etki	35
5.4.3 Çözelti devirdaim oranı (CDO).....	35
5.4.4 Kristalleşme.....	36
5.4.5 Çözelti Konsantrasyon.....	36
5.5 Enerjetik ve Ekserjetik Performans Parametreleri	36
5.5.1 İyileştirilebilirlik potansiyeli (IP).....	36
5.5.2 Sistem enerjetik yenilenebilirlik oranı.....	37
5.5.3 Sistem ekserjetik yenilenebilirlik oranı	37
5.5.4 Sistem enerjetik reenjeksiyon oranı.....	37
5.5.5 Sistem ekserjetik reenjeksiyon oranı	38
5.5.6 Yeni ekserjetik parametreler.....	38
5.5.6.1 Toplam ekserji yıkım oranı (TEKYO).....	38
5.5.6.2 Sistem elemanları ekserji yıkım oranı (SEEkYO)	38

5.5.6.3 Boyutsuz ekserji yıkım oranı (BEkYO)	39
6. SİSTEMİN GELİŞTİRİLMESİ VE MODELİN UYGULANMASI	40
6.1 Elektrik Üretim (Mevcut Sistem) Analizi	41
6.1.1 Enerji analizi	46
6.1.2 Ekserji analizi	48
6.1.3 Enerji ve ekserji performans parametresi	51
6.2 Elektrik Üretimi (EÜ) ve Tek Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (TEAS) Birleşik Enerji Sistemi Analizi	52
6.3 Elektrik Üretimi (EÜ), Tek Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (TEAS) ve Sıcak Su Sağlama (SSS) Birleşik Enerji Sistemi Analizi	59
6.4 Elektrik Üretimi (EÜ) ve Sıcak Su Sağlama (SSS) Birleşik Enerji Sistemi Analizi	65
6.5 Elektrik Üretimi (EÜ) ve Isıtma-Sıcak Su Sağlama (ISSS) Birleşik Enerji Sistemi Analizi	69
6.6 Elektrik Üretimi (EÜ), Isıtma-Sıcak Su Sağlama (ISSS) ve Sera Isıtması (SI) Birleşik Enerji Sistemi Analizi	75
6.7 Elektrik Üretimi (EÜ) ve Sera Isıtma (SI) Birleşik Enerji Sistemi Analizi	80
6.8 Tek Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (TEAS) Sisteminin Analizi	86
6.9 Tek Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (TEAS) ve Sıcak Su Sağlama (SSS) Birleşik Enerji Sistemi Analizi	88
6.10 Çift Etkili Absorbsiyonlu Soğutma(ÇEAS) Sisteminin Analizi	90
6.11 Çift Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (ÇEAS) ve Sıcak Su Sağlama (SSS) Birleşik Enerji Sistemi Analizi	93
6.12 Isıtma-Sıcak Su Sağlama (ISSS) Enerji Sistemi Analizi	95
6.13 Isıtma-Sıcak Su Sağlama (ISSS) ve Sera Isıtma (SI) Birleşik Enerji Sistemi Analizi	96
7. BULGULAR	99
7.1 Elektrik Üretimi (EÜ) İçin Bulgular	99
7.2 Elektrik Üretimi (EÜ) ve Tek Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (TEAS) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar	102
7.3 Elektrik Üretimi (EÜ), Tek Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (TEAS) ve Sıcak Su Sağlama (SSS) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar	104
7.4 Elektrik Üretimi (EÜ) ve Sıcak Su Sağlama (SSS) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar	106
7.5 Elektrik Üretimi (EÜ) ve Isıtma-Sıcak Su Sağlama (ISSS) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar	108
7.6 Elektrik Üretimi (EÜ), Isıtma-Sıcak Su Sağlama (ISSS) ve Sera Isıtması (SI) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar	109
7.7 Elektrik Üretimi (EÜ) ve Sera Isıtma (SI) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar	111
7.8 Tek Etkili Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi (TEAS) İçin Sonuçlar	113
7.9 Çift Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (ÇEAS) Sistemi İçin Sonuçlar	115
7.10 Tek Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (TEAS) ve Sıcak Su Sağlama (SSS) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar	116
7.11 Çift Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (ÇEAS) ve Sıcak Su Sağlama (SSS) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar	118
7.12 Isıtma-Sıcak Su Sağlama (ISSS) Enerji Sistemi İçin Sonuçlar	119
7.13 Isıtma-Sıcak Su Sağlama (ISSS) ve Sera Isıtma (SI) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar	121
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	123
8.1 Sonuçlar	123
8.2 Öneriler	129
9. KAYNAKLAR	131

SEMBOL ve KISALTMA LİSTESİ

<u>Sembol</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Birimi</u>
E	Enerji	kJ
\dot{E}	Enerji Akısı	kW
E_x	Ekserji	kJ
\dot{E}_x	Ekserji Akısı	kW
h	Entalpi	kJ/kg
\dot{m}	Debi	kg/s
P	Basınç	kPa
$Rein_E$	Enerjetik Reenjeksiyon Oranı	(-)
$Rein_{Ex}$	Ekserjetik Reenjeksiyon Oranı	(-)
Ren_E	Enerjetik Yenilenebilirlik Oranı	(-)
Ren_{Ex}	Ekserjetik Yenilenebilirlik Oranı	(-)
s	Entropi	kJ/kg °C
T	Sıcaklık	°C
IP	İyileştirilebilirlik Potansiyeli	kW
W	İş	kW
η	Enerji Verimi	%
ε	Ekserji Verimi	%
Ψ	Ekserji Akısı	kJ/ kg

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
B	Buhar
BEkYO	Boyutsuz Ekserji Yıkım Oranı
CDO	Çözelti Devirdaim Oranı
ÇEAS	Çift Etkili Absorpsiyonlu Soğutma
EÜ	Elektrik Üretimi
ISSS	Isıtma-Sıcak Su Sağlama
isopen.	İzopentan
JS	Jeotermal Su
SEEkYO	Sistem Elemanları Ekserji Yıkım Oranı
SSS	Sıcak Su Sağlama
SI	Sera Isıtma
STK	Soğutma Tesiri Katsayısı
TEAS	Tek Etkili Absorpsiyonlu Soğutma
TEkYO	Toplam Ekserji Yıkım Oranı

<u>Alt indistler</u>	<u>Açıklama</u>
asb.	Absorber
Buh.	Buharlaştırıcı
çık.	Çıkan
Esj.	Eşanjör
exp	Deneysel
gir.	Giren
i	Sistem Elemanları
ieg.	İşletme Elektrik Sarfıyatı
ipc.	Izopentan güç çevrimi
ja	Jeotermal Akışkan
jen	Jeneratör (Kaynatici)
kul.	Kullanılan
ky	Kayıp + Yıkım
kyp	Kayıp
OI	Ön Isıtıcı
rein	Reenjeksiyon
sck	Sıcak Akışkan
Sep.	Seperatör
sgk.	Soğuk Akışkan
sis	Sistem
sog.	Soğuk Akışkan
Teo.	Teorik
Tplm.	Toplam
Turb.	Türbin
Yog.	Yoğuşturucu
ykm	Yıkım
0	Referans Çevre

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge Adı	Sayfa No
Çizelge 2.1 Türkiye'deki jeotermal merkezi ısıtma sistemleri ve özellikleri	9
Çizelge 2.2 Türkiye için jeotermal enerjiyle sera ısıtması	11
Çizelge 2.3 Türkiye'deki jeotermal güç santralleri ve özellikleri.....	17
Çizelge 4.1 Kontrol amaçlı kullanılan debimetrenin özellikleri	30
Çizelge 4.2 Kontrol amaçlı kullanılan sıcaklık ölçüm sistemin özellikleri.....	30
Çizelge 6.1 Tuzla jeotermal elektrik üretim sistemi için termodinamik özellikler, enerji ve ekserji değerleri.....	43
Çizelge 6.2 Tuzla jeotermal elektrik üretim sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri	43
Çizelge 6.3 Elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistem işletme ve termodinamik değerleri	54
Çizelge 6.4 Elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri	55
Çizelge 6.5 Elektrik üretimi, tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su birleşik enerji sistem işletme ve termodinamik değerleri	61
Çizelge 6.6 Elektrik üretimi, tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su birleşik enerji sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri	62
Çizelge 6.7 Elektrik üretimi ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için örnek bir gün işletme ve termodinamik değerleri.....	66
Çizelge 6.8 Elektrik üretimi ve sıcak su birleşik enerji sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri.....	66
Çizelge 6.9 Elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su birleşik enerji sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri.....	70
Çizelge 6.10 Elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su birleşik enerji sistem işletme ve termodinamik değerleri.....	71
Çizelge 6.11 Elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su birleşik enerji sistem işletme ve termodinamik değerleri.....	77
Çizelge 6.12 Elektrik üretimi ve sıcak su birleşik enerji sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri.....	77

Çizelge 6.13 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik enerji sistem işletme ve termodinamik değerleri	82
Çizelge 6.14 Elektrik ve sıcak su birleşik enerji sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri	82
Çizelge 6.15 TEAS sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri.....	86
Çizelge 6.16 TEAS enerji sistem işletme ve termodinamik değerleri	88
Çizelge 6.17 Tek etkili soğutma ve sıcak su birleşik sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri.....	89
Çizelge 6.18 Tek etkili soğutma ve sıcak su sağlama sistem işletme ve termodinamik değerleri	90
Çizelge 6.19 Çift etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistem işletme ve termodinamik değerleri.....	92
Çizelge 6.20 Çift etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistem modelinin sistem işletme ve termodinamik değerleri	94
Çizelge 6.21 Isıtma ve sıcak su birleşik enerji sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri	95
Çizelge 6.22 Isıtma ve sıcak su birleşik enerji sistem modelinin sistem işletme ve termodinamik değerleri.....	96
Çizelge 6.23 Isıtma, sıcak su ve sera ısıtma birleşik enerji sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri.....	97
Çizelge 6.24 Isıtma, sıcak su ve sera ısıtma birleşik enerji sistem işletme ve termodinamik değerleri	98

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 3.1 İtalya'nın Larderello şehrindeki jeotermal güç santrali	20
Şekil 3.2 Birleşik Devletler'deki 'The Geysers' jeotermal güç santrali	21
Şekil 3.3 Kuru buharı kullanan jeotermal güç santrali şematiği	21
Şekil 4.1 Tuzla jeotermal güç santralinin genel bir görünümü	23
Şekil 4.2 Jeotermal saha ve kuyular (Tuzla)	23
Şekil 4.3 Üretim kuyularındaki inhibitör sisteminden bir görünüm (Tuzla).....	24
Şekil 4.4 Separatör ünitesi (Tuzla).....	24
Şekil 4.5 Kuyu başındaki pompa ünitesi (Tuzla).....	25
Şekil 4.6 Birleşik türbin ve jeneratör sistemi (Tuzla)	25
Şekil 4.7 Yoğuşturucu (kondenser) ünitesi (Tuzla)	28
Şekil 4.8 Trafo ünitesi.....	28
Şekil 4.9 Borulardaki silikat ve kireçlenme probleminin bir görüntüsü	29
Şekil 4.10 Otomatik kontrol ünitesi ekranından bir kesit	30
Şekil 5.1 LiBr-H ₂ O çifti için sisteme sağlanan su sıcaklığının soğutma etkinlik katsayısına etkisi	34
Şekil 6.1 Elektrik üretimiyle birleşik sistem modeline ait iş akış şeması	40
Şekil 6.2 Elektrik üretimi hariç birleşik sistem modeline ait iş akış şeması	41
Şekil 6.3 Elektrik üretiminin iş akış şeması (Tuzla mevcut durumu).	42
Şekil 6.4 Tuzla jeotermal elektrik üretim sistemi için Sıcaklık-Entropi diyagramı.....	42
Şekil 6.5 Tuzla jeotermal güç üretim sistemi için Sankey diyagramı.....	44
Şekil 6.6 Tuzla jeotermal güç üretim sistemi için Grosman diyagramı	44
Şekil 6.7 Jeotermal kaynaklı elektrik üretim sistem elemanları için iyileştirilebilirlik potansiyeli.....	45

Şekil 6.8 Boyutsuz ekserji yıkım oranının jeotermal kaynaklı elektrik üretim sistem elemanlarına bağlı dağılımı.....	45
Şekil 6.9 Jeotermal kaynaklı elektrik üretim sistem elemanları ekserji yıkım oranlarının dağılımı	46
Şekil 6.10 Tuzla jeotermal güç üretim sistemine tek etkili absorpsiyonlu soğutma ünitesinin eklenmesi ile oluşan iş akış şeması	53
Şekil 6.11 Tek etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi için Basınç-Sıcaklık değişim gösterimi	55
Şekil 6.12 Elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik sistemi için Sankey diyagramı	56
Şekil 6.13 Elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik sistemi için Grosman diyagramı	56
Şekil 6.14 Elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistem elemanları için iyileştirilebilirlik potansiyeli	57
Şekil 6.15 Boyutsuz ekserji yıkım oranının elektrik üretimi ve tek etkili soğutma birleşik sistem elemanlarına bağlı dağılımı	57
Şekil 6.16 Elektrik üretimi ve tek etkili soğutma birleşik sistem elemanlarındaki ekserji yıkım oranlarının dağılımı	58
Şekil 6.17 Elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistemi için kullanılan enerjinin dağılımı	58
Şekil 6.18 Kullanılan ekserjinin elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistemi içindeki dağılımı	59
Şekil 6.19 Tuzla jeotermal güç üretim sistemine tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su eldesi ünitesinin eklenmesi ile oluşan şematik gösterimi	60
Şekil 6.20 Elektrik üretimi, tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistem elemanlarının iyileştirilebilirlik potansiyeli.....	62
Şekil 6.21 Boyutsuz ekserji yıkım oranının elektrik üretimi, tek etkili soğutma ve sıcak su üretim birleşik sistemi elemanlarına bağlı dağılımı	63
Şekil 6.22 Elektrik üretimi, tek etkili soğutma ve sıcak su üretim birleşik sistem elemanları ekserji yıkım oranlarının dağılımı	63
Şekil 6.23 Elektrik üretimi, tek etkili soğutma ve sıcak su sağlama birleşik sistemi için enerji dağılımı	64
Şekil 6.24 Kullanılan ekserjinin elektrik üretimi ve çift etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistemi içindeki dağılımı	64
Şekil 6.25 Tuzla jeotermal güç üretim sistemine sıcak su eldesi ünitesinin eklenmesi ile oluşan şematik gösterim.....	65

Şekil 6.26 Elektrik üretimi, tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistem elemanlarının iyileştirilebilirlik potansiyeli.....	67
Şekil 6.27 Boyutsuz ekserji yıkım oranının elektrik üretimi, tek etkili soğutma ve sıcak su üretim birleşik sistemi elemanlarına bağlı dağılımı	67
Şekil 6.28 Elektrik üretimi, tek etkili soğutma ve sıcak su üretim birleşik sistem elemanlarının ekserji yıkım oranlarının dağılımı.....	68
Şekil 6.29 Elektrik üretimi ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemleri için kullanılan enerjinin dağılımı	68
Şekil 6.30 Elektrik üretimi ve sıcak su sağlama enerji sistemi için ekserji kullanımının dağılımı	69
Şekil 6.31 Elektrik üretimi sistemine ısıtma-sıcak su eldesi ünitesinin eklenmesi ile oluşan şematik gösterim	70
Şekil 6.32 Elektrik üretimi ve Isıtma-Sıcak Su Sağlama birleşik sistemi için Sankey diyagramı	72
Şekil 6.33 Elektrik üretimi ve Isıtma-Sıcak Su Sağlama birleşik sistemi için Grosman diyagramı	72
Şekil 6.34 Elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su sağlama birleşik enerji sistem elemanlarının iyileştirilebilirlik potansiyeli	73
Şekil 6.35 Boyutsuz ekserji yıkım oranının elektrik üretimi ve sıcak su sağlama birleşik sistemi elemanlarına bağlı dağılımı	73
Şekil 6.36 Elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su sağlama birleşik sistemi elemanları ekserji yıkım oranlarının dağılımı	74
Şekil 6.37 Enerjinin elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su sağlama birleşik sistemi içinde dağılımı	74
Şekil 6.38 Kullanılan ekserjinin elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su sağlama birleşik sistemi içindeki dağılımı	75
Şekil 6.39 Sisteme ısıtma-sıcak su eldesi ve sera ısıtma ünitesinin eklenmesi ile oluşan şematik gösterim	76
Şekil 6.40 Elektrik üretimi, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sistem elemanlarının iyileştirilebilirlik potansiyeli	78
Şekil 6.41 Boyutsuz ekserji yıkım oranının elektrik üretimi, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik sistemi elemanlarına bağlı dağılımı.....	78
Şekil 6.42 Elektrik üretimi, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik sistemi elemanları ekserji yıkım oranlarının dağılımı.....	79
Şekil 6.43 Elektrik üretimi, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için kullanılan enerjinin dağılımı	79

Şekil 6.44 Kullanılan ekserjinin elektrik üretimi, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi içindeki dağılımı	80
Şekil 6.45 Sisteme sera ısıtması ünitesinin eklenmesi ile oluşan şematik gösterim	81
Şekil 6.46 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik sistemi için Sankey diyagramı	83
Şekil 6.47 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik sistemi için Grosman diyagramı	83
Şekil 6.48 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik enerji sistem elemanlarının iyileştirilebilirlik potansiyeli	84
Şekil 6.49 Boyutsuz ekserji yıkım oranının elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik sistemi elemanlarına bağlı dağılımı.....	84
Şekil 6.50 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik sistemi elemanları ekserji yıkım oranlarının dağılımı	85
Şekil 6.51 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için kullanılan enerjinin dağılımı	85
Şekil 6.52 Kullanılan ekserjinin birleşik enerji sistemi içindeki dağılımı	86
Şekil 6.53 Jeotermal kaynaktan tek etkili absorpsiyonlu soğutma ünitesinin beslenmesi ile oluşan şematik gösterim.....	87
Şekil 6.54 Jeotermal kaynaktan tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama ünitesinin beslenmesi ile oluşan şematik gösterim	89
Şekil 6.55 Jeotermal kaynaktan çift etkili absorpsiyonlu soğutma ünitesinin beslenmesi ile oluşan şematik gösterim.....	91
Şekil 6.56 Jeotermal kaynaktan çift etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama ünitesinin beslenmesi ile oluşan şematik gösterim	93
Şekil 6.57 Jeotermal kaynaktan ısıtma-sıcak su sağlama ünitesinin beslenmesi ile oluşan şematik gösterim	95
Şekil 6.58 Jeotermal kaynaktan ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ünitesinin beslenmesi ile oluşan şematik gösterim.....	97
Şekil 7.1 Yıllık dış hava sıcaklık frekans dağılımı	99
Şekil 7.2 Elektrik üretimi sistemi için enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığına bağlı değişimi.....	100
Şekil 7.3 Elektrik üretim sistemi ekserji veriminin yıllık bazda değişimi	101
Şekil 7.4 Elektrik üretim sistemi enerji veriminin yıllık bazda değişimi	101
Şekil 7.5 Elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistemi için enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığına bağlı değişimi	102
Şekil 7.6 Elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi	103

Şekil 7.7 Elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi	103
Şekil 7.8 Elektrik üretimi, tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığına bağlı değişimi	104
Şekil 7.9 Elektrik üretimi, tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi.....	105
Şekil 7.10 Elektrik üretimi, tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi	105
Şekil 7.11 Elektrik üretimi ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığına bağlı değişimi.....	106
Şekil 7.12 Elektrik üretimi ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi	107
Şekil 7.13 Elektrik üretimi ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi	107
Şekil 7.14 Elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığına bağlı değişimi	108
Şekil 7.15 Elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi.....	109
Şekil 7.16 Elektrik üretimi, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığına bağlı değişimi	110
Şekil 7.17 Elektrik üretimi, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi	110
Şekil 7.18 Elektrik üretimi, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi	111
Şekil 7.19 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığına bağlı değişimi.....	112
Şekil 7.20 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi	112
Şekil 7.21 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi	113
Şekil 7.22 Tek etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi.....	114
Şekil 7.23 Tek etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi.....	114
Şekil 7.24 Çift etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi.....	115

Şekil 7.25 Çift etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi.....	116
Şekil 7.26 Tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik ekserji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi	117
Şekil 7.27 Tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi	117
Şekil 7.28 Çift etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik ekserji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi	118
Şekil 7.29 Çift etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik ekserji sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi	119
Şekil 7.30 Isıtma-sıcak su sağlama enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi	120
Şekil 7.31 Isıtma-sıcak su sağlama enerji sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi	120
Şekil 7.32 Isıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi	121
Şekil 7.33 Isıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi	122
Şekil 8.1 Elektrik üretimiyle birleşik sistem iş akış şeması ve altı parametre	124
Şekil 8.2 Elektrik üretimi hariç birleşik sistem iş akış şeması ve altı parametre	125
Şekil 8.3 Birleşik enerji sistemleri için dış hava sıcaklık dağılımına bağlı ortalama ekserji verimi değerleri.....	126
Şekil 8.4 Elektrik üretimiyle birleşik sistemler için iyileştirilebilirlik potansiyeli	127
Şekil 8.5 Elektrik üretimiyle birleşik enerji sistemler için ekserji veriminin referans çevre sıcaklığıyla değişimi	128

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren, yol gösteren ve her zaman destek olan, hem bilimsel hem de bireysel olarak örnek aldığım çok değerli danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. İbrahim DİNÇER ve Doç. Dr. Zuhal OKTAY'a en derin minnet ve şükranlarımı sunarım.

Tezim ile ilgili değerli görüşlerinden yararlandığım tez izleme jüri üyelerimden Sayın Prof. Dr. Hikmet KARAKOÇ, Yrd. Doç. Dr. Bahar BAYBOZ, Yrd. Doç. Dr. Nadir İLTEN ve Yrd. Doç. Dr. Enver YALÇIN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezimin hazırlanması sırasında benden hiçbir yardımını esirgemeyen jeotermal santral işletme müdürü Sayın Yüksek Mühendis Çığır DİNER'e ve Dr. Ersin Akyüz'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında maddi ve manevi olarak sürekli destek olan aileme de minnettarım.

Balıkesir, 2011

Can COŞKUN

1. GİRİŞ

Mevcut uygulamalar göz önüne alındığında jeotermal enerji, diğer fosil yakıtlara ve yenilenebilir enerji kaynaklarına göre hem daha temiz hem de ucuz bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında enerji maliyeti en düşük kaynak, jeotermal enerji olarak gösterilmektedir. Türkiye, jeotermal potansiyel olarak zengin olmasına rağmen, potansiyelinin sadece % 4'lük bir kısmını verimli bir şekilde kullanıma geçirebilmiştir. Türkiye için şu andaki jeotermal enerji kullanımı, tespit edilmiş jeotermal enerji potansiyelinin küçük bir bölümünü oluşturduğu ortadadır. Türkiye'nin gelecekteki enerji ihtiyacı göz önüne alındığında, bu ihtiyacı karşılamada jeotermal enerji büyük bir rol üstleneceği açıktır. Ancak bu enerjinin kullanımının tek başına yeterli olmayacağı da aşikârdır. Ülkemiz, belirlenmiş tüm jeotermal enerji potansiyelini kullandığında toplamda ısı+elektrik ihtiyacının % 12.7'lik kısmını jeotermal enerjiden sağlayabilme potansiyeline sahiptir. Jeotermal enerjiden yararlanma ana hatlarıyla elektrik üretimi ve doğrudan kullanım olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir. Ülkemiz bağlamında, son 40 yılda jeotermal kaynaklardan doğrudan kullanım amaçlı yararlanma hızlı bir biçimde artış göstermiştir. Türkiye, doğrudan kullanımda ilk beş ülkenin içinde yer almaktadır. Son dönemlerde, doğrudan kullanımda bir tek binanın ısıtılması ekseninden merkezi ısıtma, sera ısıtmacılığı, endüstriyel kullanım, modern hamam ve fizik tedavi merkezlerine doğru bir kayma yaşanmıştır [1,2].

Türkiye'deki jeotermal enerji kullanımına kısaca iki ana başlık altında değinilebilir: Elektrik üretimi ve doğrudan kullanım uygulamaları. Türkiye için jeotermal kaynaklardan güç üretimi 2010 yılı başı itibariyle 100 MWe'ğe ulaşmış durumdadır. İşletmede; Dora-I Salavatlı, Dora-II Salavatlı, Ömerbeyli, Bereket, Tuzla-Çanakkale, Kızıldere-Denizli jeotermal güç santralleri olmak üzere altı santral bulunmaktadır. Türkiye'de jeotermal enerjiden elektrik üretim kapasitesi son 4 yıl içinde 4 katına çıkmıştır. Doğrudan kullanım bağlamında bakıldığında, 2007 verilerine göre Türkiye'de 20 jeotermal merkezi ısıtma sistemi bulunmaktadır.

Toplamda 395 MW enerji sağlanarak 6 milyon metre kare alan ısıtılabilme kapasitesi bulunmaktadır. Sözü edilen yirmi jeotermal merkezi ısıtma sistemi şu şekilde sıralanabilir: Gönen-Balıkesir, Edremit-Balıkesir, Bigadiç-Balıkesir, Güre-Balıkesir, Simav-Kütahya, Kırşehir, Kızılcahamam-Ankara, Balçova-İzmir, Bergama-İzmir, Dikili-İzmir, Afyon, Kozaklı-Nevşehir, Sandıklı-Afyon, Diyadin-Ağrı, Salihli-Manisa, Sarayköy-Denizli, Kuzuluk-Sakarya, Armutlu-Yalova, Sorgun-Yozgat, Yerköy-Yozgat jeotermal merkezi ısıtma sistemleri. Türkiye için jeotermal enerjiden yararlanılarak sera ısıtma son dönemlerde oldukça popüler olmaya başlamıştır. Bu seralarda çoğunlukla domates ve biber yetiştiriciliği yapılmaktadır. 2010 yılı itibariyle Türkiyedeki jeotermal enerji ile ısıtılan sera alanı 2104 dekar ve toplam sağlanan enerji ise 207.4 MWt'dir. Kurulu jeotermal sahalar: Dikili-İzmir, Salihli-Manisa, Turgutlu-Manisa, Balçova-İzmir, Kızıldere-Denizli, Gümüşköy-Aydın, Diyadin-Ağrı, Karacaali-Urfa, Sındırgı-Balıkesir, Simav-Kütahya jeotermal sera ısıtma alanları [3-5].

Türkiye'deki jeotermal kaynaklar ve bu kaynaklardan yararlanma şekilleri üzerinde geniş ve kapsamlı çalışmalar bulunmaktadır. Literatürdeki incelemeler ana başlıklarıyla şu şekilde sıralanabilir [6-13]:

- Türkiye'deki jeotermal potansiyel,
- Türkiye'de jeotermal enerjinin kullanım alanları ve kullanım şekilleri,
- Jeotermal uygulamaların ekonomiye katkısı,
- Çevresel etkileri.

Literatürde, jeotermal enerjiden bütünleşik çoklu kullanım kavramı Eliasson ve Björnsson [14] tarafından ortaya atılmıştır. Bütünleşik çoklu kullanım kavramının özünde, kullanılan jeotermal akışkanın sıcaklığını en uygun uygulamalarla en düşük seviyeye getirmek ve reenjeksiyonu bu şekilde sağlamak bulunmaktadır. Bu sayede, jeotermal enerjiden dah etkin bir yararlanma sağlanmış olmaktadır. Bütünleşik çoklu kullanım ile uzun dönemli hazne ömrüne, düşük çevresel etkilere, yüksek oranda pazarlama esnekliğine ve sistem karlılığına ulaşılabilir. Tüm bunlara ek olarak, en yüksek sıcaklık farkına, en uygun debi oranına, minimum jeotermal akışkan kullanımına ve optimum pompa karakteristiğine erişilebilmektedir. Eğer jeotermal akışkanın içeriği doğrudan kullanıma izin veriyorsa, ekonomik sebeplerden

dolayı akışkanın doğrudan kullanımını daha uygun olmaktadır. Akışkanın kimyasal yapısının doğrudan kullanıma izin vermediği durumlarda jeotermal ve şebekede dolaşan akışkanın eşanjörler yardımıyla ayrılması gerekmektedir [14].

Bu tez çalışmasında; Eliasson ve Björnsson tarafından ortaya konulan jeotermal enerjiden bütünleşik çoklu kullanım kavramı daha ayrıntılı bir biçimde modelleme yapılarak termodinamik açıdan birçok analiz ve karşılaştırma yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde, yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer alan jeotermal enerji üzerine yapılmış çalışmaların çokluğu dikkat çekmektedir. Bunların içerisinde elektrik üretimi, merkezi ısıtma/sıcak su ve sera ısıtması üzerine yapılan çalışmalar diğerlerine nazaran daha fazladır. Bu bölümde: literatürde jeotermal enerjiden elektrik üretimi, merkezi ısıtma ve soğutma, sıcak su ihtiyacının karşılanması ve sera ısıtması üzerine yapılan çalışmalar bölümlerine ve isim sıralarına göre aşağıdaki alt bölümlerde verilmiştir.

2.1 Merkezi Isıtma ve Sıcak Su Eldesi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Bloomquist [15] yaptığı çalışmada; jeotermal kaynakların ısıtma endüstrisinin % 37'sinde kullanıldığını ve bunun % 75'inin bölgesel ısıtma sistemlerinde olduğunu belirtmiştir. İlk endüstriyel jeotermal kullanımın 14. yy.'da Fransa'da Chaudes-Aigues Cantal'da bölgesel ısıtma sistemi olduğu, 2003 yılı itibariyle bölgesel jeotermal ısıtma sistemlerinin 12 ülkede kullanıldığı ve 44.772 TJ yıllık enerji üretiminin olduğu belirtilmiştir. Bölgesel ısıtma için genelde 50°C sıcaklığın üzerindeki sıcaklıkların gerektiği, bazı şartlarda 40°C gibi düşük sıcaklıkların kullanılabilirdiği ve eğer jeotermal ısı pompaları da dahil edilirse bölgesel ısıtmanın diğer enerji formlarına iyi bir alternatif olacağı belirlenmiştir.

Coskun ve arkadaşları [16] çalışmalarında; jeotermal sistemler için literatüre dört yeni enerjetik ve ekserjetik parametreyle katkıda bulunmuşlardır. Bu parametreler şu şekilde sıralanabilir: Sistem Enerjetik Yenilenebilirlik Oranı, Sistem Ekserjetik Yenilenebilirlik Oranı, Enerjetik Reenjeksiyon Oranı, Ekserjetik Reenjeksiyon Oranı.

Coskun ve arkadaşları [17] yaptıkları çalışmada; jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinde oluşan kullanılmış ve düşük sıcaklıklı jeotermalden ısı pompası yardımıyla konut sayısının artırılabilirliğini incelemişlerdir. Ortaya çıkabilecek ekonomik ve çevresel olumlu etkiler hesaplanarak verilmiştir.

Dağdaş [18], jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinde eşanjör optimizasyonu ile ilgili çalışmasını yakıt tasarrufu yaklaşımı ile gerçekleştirmiştir. Jeotermal uygulama projelerinde, eşanjör maliyetleri ilk yatırım maliyetinin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu sebepten, eşanjörlerde optimum ısı transfer alanı belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Dağdaş çalışmasında, 90°C sıcaklığındaki bir jeotermal kaynak için model uygulanarak, ters akışlı eşanjör için optimum ısı transfer alanının bulunması için matematiksel modeller oluşturulmuştur. Bu çalışmasındaki hedef, optimum ısı transfer alanı için en uygun fonksiyonu bulmak olarak belirlenmiştir.

Eliasson ve Björnsson [14] çalışmalarında; bazı ısıtma sistem çeşitlemelerini, jeotermal ısıtma sistemlerinin karakteristiğini ve otomatik kontrol sistemlerini tanımlamaktadırlar. Bunlara ek olarak, önerilen jeotermal bölge yönetimi ve izleme sistemine değinilmektedir. Çalışmada ayrıca, pratikte uygulanan birkaç örnek projeye değinilmektedir. Jeotermal enerji konusunda ne yapıldığı ve gelecekte ne yapılacağı konularına da değinilerek, jeotermal enerjiyi daha çekici ve dünya çapında yaygın hale getirecek yenilikler ve gelişmeler için bazı öneriler yapılmıştır.

Mertoglu ve arkadaşları [19] çalışmalarında; jeotermal enerjinin Türkiye’de çoğunlukla doğrudan uygulamalarda kullanıldığından bahsederek 2003 tarihi itibariyle jeotermal enerji kullanımından detaylı şekilde bahsetmektedirler. Jeotermal merkezi ısıtma uygulamaları bölümünde, jeotermal enerjinin neden diğer enerji kaynaklarından daha elverişli olduğu konusu kapsamlı bir şekilde irdelenmiştir.

Oktay ve Dinçer [20] çalışmalarında; Gönen jeotermal merkezi ısıtması sistemi için eksergoekonomik analiz yapmışlardır. Toplam ekserji yıkımı ve reenjeksiyonla gerçekleşen ekserji kaybı sırasıyla; 1010 kW (giren ekserjinin %

32.49'u) ve 320.3 kW (giren ekserjinin % 10'u) olarak belirlenmiştir. Ayrıca, sistem için enerji ve ekserji verimleri sırasıyla % 42 ve % 50 olarak belirlenmiştir.

Oktay ve arkadaşları [21] çalışmalarında; Bigadiç jeotermal merkezi ısıtma sisteminin enerjetik ve ekserjetik performans araştırmasını yapmışlardır. 15.6°C ve 11.0°C olmak üzere iki referans dış çevre sıcaklık değeri için incelemelerde bulunmuşlardır. Belirtilen iki sıcaklık değeri için enerji verimlerini % 30 ve % 40 olarak tespit etmişlerdir. Ekserji verimi bağlamında ise bu değerler % 36 ve % 49 olarak tespit edilmiş, enerji ve ekserji verimin artırılması için kullanılan jeotermal akışkan sıcaklığının düşürülmesi gerekliliği üzerinde durulmuştur.

Oktay ve Dinçer [22] çalışmalarında; enerjetik, ekserjetik, ekonomik ve çevresel yönüyle Bigadiç jeotermal merkezi ısıtma sisteminini termodinamik açıdan incelemişlerdir.

Oktay ve Aslan [23]; Gönen jeotermal merkezi ısıtma sistemi üzerine kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Sistemin ekonomikliği ve çevresel etkileri üzerine de detaylı değerlendirmelerde bulunmuşlardır.

Özgener ve arkadaşları [24]; Salihli jeotermal merkezi ısıtma sistemi için eksergoekonomik bir incelemede bulunmuşlardır. Çalışmalarında, maliyetler ile sistem bileşenlerindeki termodinamik kayıplar arasında bir ilişki oluşturmaya çalışmışlardır. Tüm sistem ve her bir parça için ekserji kayıpları ile maliyet arasında sistematik bir bağın olduğunu ancak bu ilişkinin enerji için oluşmadığını belirlemişlerdir. Ayrıca, çalışmalarında termodinamik açıdan oluşan kayıpların maliyet arasındaki oranının referans sıcaklıkla nasıl değişiklik gösterdiği bulunmuş ve pratik analizlerde kullanmak için bir bağdaşım geliştirmişlerdir. Bu çalışmalarından elde edilen sonuçlar, özellikle termodinamik ile ekonomiyi bir araya getiren tasarım ve analiz yönteminin geliştirilmesi açısından jeotermal merkezi ısıtma sistemleri için kullanışlı veriler barındırmaktadır.

Özgener ve arkadaşları [25]; Salihli ve Bornova merkezi ısıtma sisteminin ekserjetik performansını analiz etmişlerdir. Bornova ve Salihli merkezi ısıtma sisteminin ekserji verimliliğini sırası ile % 42.89 ve % 59.58 olarak bulmuşlardır.

Özgener ve arkadaşları [26] yaptıkları çalışmada; Balçova, Salihli ve Gönen jeotermal merkezi ısıtma sistemleri hakkında kapsamlı bir analiz ortaya koymuşlardır. Bu bağlamda enerji, ekserji ve performans geliştirme alternatiflerine değerlendirerek, üç sistem için enerji - ekserji modelleri ve sistem performans analizlerini oluşturmuşlardır. Bu üç sistem için 4 °C dış referans çevre sıcaklığında enerji verimliliklerinin % 39.6 ile % 55.6 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Ekserji verimlerini değerlendirdiklerinde ise % 45.7 ve % 63 arasında bir değişimin olduğunu tespit etmişlerdir. Sistem toplam enerji girdilerinin 17.02 MW ile 101.22 MW arasında değiştiğini bulmuşlardır. Yapılan çalışmada, Salihli jeotermal merkezi ısıtma sisteminin, incelenen üç sistem arasında en yüksek enerji verimliliğine sahip olduğu belirlenmiş, Salihli'yi daha sonra Balçova ve Gönen takip etmiştir. En yüksek ekserji verimliliği ise Gönen Jeotermal Merkezi Isıtma sisteminde gözlemlenmiştir. Gönen'in yüksek ekserji verimliliğine sahip olmasına en büyük sebep olarak: diğer sistemlerle karşılaştırıldığında boru kayıplarının daha az olması ve merkezi ısıtma sisteminin parçalarının otomatik kontrollerinin olması gösterilmiştir.

Özgener ve arkadaşları [27] çalışmalarında; Balçova ve Salihli jeotermal merkezi ısıtma sisteminin enerjetik performans analizini yapmışlardır. Modellemelerin de sistemin tüm önemli parçalarına yer vermişlerdir. Bu çalışma, sistem analizi ve enerjetik performansını içermektedir. 2003 ve 2004 yılları için ısıtma dönemine ait veriler doğrultusunda enerji akış diyagramları oluşturulmuştur. Bu grafiklerde giren-çıkan enerji miktarları ve kayıplar ayrıntılı şekilde sergilenmiştir. Enerji verim değerleri Balçova ve Salihli'deki merkezi ısıtma sistemleri için sırasıyla % 39.36 ve % 59.31 olarak bulunmuştur. Enerji analizi için modelleme analizi yapılırken kütle ve enerji denge eşitlikleri kullanılmış ve sonuçlar kısmında Salihli'deki sistemin Balçova'daki sistemden daha yüksek verimliliğe sahip olduğu saptanmıştır. Bunlara ek olarak, sonuçlar kısmında daha verimli ve etkili bir sistem için enerji kazanımlarının sağlanması gereği üzerinde durulmuştur.

Özgener ve arkadaşları [28], çalışmalarında enerji ve ekserji değerlendirmeleri ve seçilen sistem için jeotermal merkezi ısıtma sistemlerinin modellenmesi üzerine bir inceleme yapmışlardır. Bu incelemede Balçova jeotermal merkezi ısıtma sistemi ile de ilişkilendirilerek, sistem için performans ve optimizasyon değerlendirmeleri yapılmış termal veriler alınarak analiz için kullanılmıştır. Bu bağlamda, merkezi ısıtma sistemi için performans, enerji-ekserji verimleri ve ekserji kayıp değerleri belirlenmiştir. Balçova jeotermal merkezi ısıtma sistemi için ekserji kayıpları belirlenerek akış diyagramlarında gösterilmiştir. Ayrıca, karşılaştırma amacıyla enerji ve ekserji akış diyagramları da çalışmada verilmiştir. Söz konusu sistem için enerji ve ekserji verimleri sırasıyla % 41.9 ve % 46 olarak bulunmuştur.

Richter ve arkadaşları [29] çalışmalarında; merkezi ısıtma sistemindeki korozyonu, boru hattı denetim metodu ile belirlemişlerdir. İzlanda'nın Reykjavik şehrinde yaptıkları çalışma sonucunda, paslanma sonucu çürüme faktörü tespit edilmiştir. Richter ve arkadaşları çalışmalarındaki sonuçlar şu bulguyu ortaya koymuştur: çözülmüş oksijen oranı 100 ppm'in altında olduğunda yerel korozyon ihtimali çok azalmaktadır.

Stevanovic ve arkadaşları [30] çalışmalarında; İtalya'nın Zemun şehrinde bulunan merkezi ısıtma sistemine uyguladıkları modelden bahsetmektedirler. Bu modeli kullanarak sözü edilen merkezi ısıtma sisteminin enerji verimliliği analizini gerçekleştirmişlerdir. Kolay uygulanabilir ve yüksek verimliliğe sahip bu model karmaşık boru hatlarında faz değiştirmeyen akışkanların hidrolik hesaplarında kolayca kullanılabilir.

Serpen ve arkadaşlarının [5] çalışmalarında; Türkiye'de jeotermal enerjiden yararlanmanın 1987'de başladığını ifade edilerek, 2007 verilerine göre Türkiye'de 20 jeotermal merkezi ısıtma sistemi bulunduğu bildirilmektedirler (Çizelge 2.1). Türkiye de toplamda 395 MWt enerji sağlanarak 6 milyon metre kare alan ısıtılabilen ortaya konulmuştur.

Çizelge 2.1 Türkiye’deki jeotermal merkezi ısıtma sistemleri ve özellikleri [5]

Jeotermal Merkezi Isıtma Bölgeleri	Yıl	$T_{gir.}$ (°C)	$T_{cik.}$ (°C)	Debi (kg/s)	Kapasite (MWt)	Konut Eşdeğeri (100 m ²)
Gönen-Balıkesir	1987	67	45	200	18.4	2500
Simav-Kütahya	1991	100	50	175	36.6	6000
Kırşehir	1994	54	49	270	5.6	1800
Kızılcahamam-	1995	70	42	150	17.6	2600
Balçova-İzmir	1996	118	60	320	77.7	21500
Afyon	1996	90	45	180	33.9	5000
Kozaklı-Nevşehir	1996	98	52	100	19.2	1500
Sandıklı-Afyon	1998	70	42	250	29.3	4000
Diyadin-Ağrı	1998	65	55	200	8.4	400
Salihli-Manisa	2002	80	40	150	25.1	4000
Dikili-İzmir	2008	120	60	40	10.0	150
Sarayköy-Denizli	2002	125	60	100	27.2	2500
Edremit-Balıkesir	2004	60	45	270	16.9	2740
Bigadiç-Balıkesir	2006	80	50	80	10.0	1000
Bergama-İzmir	2006	62	40	100	10.0	200
Kuzuluk-Sakarya	1994	80	40	25	11.2	500
Armutlu-Yalova	2000	78	40	30	4.8	250
Güre-Balıkesir	2006	62	52	200	8.5	300
Sorgun-Yozgat	2007	75	50	200	20.9	1500
Yerköy-Yozgat	2007	60	40	40	3.3	500
Toplam					394.6	58940

2.2 Jeotermal Enerji Kaynaklı Sera Isıtması Üzerine Yapılan Çalışmalar

Adaro ve arkadaşları [31] çalışmalarında; Arjantin’in orta bölgesi için sera ürünlerinin donma tehlikesinin ve büyüme inhibisyonunun en önemli sorun olduğundan; bahsetmektedirler. Jeotermal enerji kullanılarak sıcaklığın belli bir seviyede sabit tutulduğundan ve bu sorunun aşılması açısından bu yöntemin oldukça yararlı olduğundan bahsetmektedirler.

Bakos ve arkadaşlarının [32] çalışmalarında; Yunanistan’ın kuzey bölgelerindeki düşük entalpili jeotermal kaynaklardan sağlanan enerji ile çiçek yetiştirimi yapılan bir seranın ısıtılması incelenmiştir. Sera ısıtmasında ve meydana gelen kayıpların belirlenmesinde birçok yöntem bulunduğu bahsederek, düşük maliyet ve yüksek verimlilik kriterlerine göre farklı sera ısıtma yaklaşımlarını analiz etmişlerdir. Ayrıca sonuç bölümünde, bu tarz seraların Yunanistan’ın Kuzey

bölgesindeki düşük entalpili kaynakların kullanımı açısından çok faydalı olacağına değinilmektedir.

Ghosal ve Tiwari [33] çalışmalarında; yere döşenmiş polietilen tüpler içerisinden geçirilen jeotermal akışkanla ısıtılan örnek bir sera için model geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, Arjantin'in orta bölgesi için kış dönemine ait dış hava sıcaklık verileri kullanılarak sera ısıtması için hesaplamalar yapılmıştır. Isıtılacak sera farklı koşullarda üç ayrı bölgeye ayrılarak inceleme yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen deneysel veriler, matematiksel model ile detaylı bir biçimde karşılaştırılmıştır.

Karytsas ve arkadaşları [34], yaptıkları çalışmada; Yunanistan'ın Traianoupolis Evros bölgesindeki düşük entalpili jeotermal kaynakların sera ısıtması ve merkezi ısıtma için ne ölçüde uygun ve elverişli olduğunu incelemişlerdir. Kaynak için kuyu başı jeotermal akışkan sıcaklığı 53°C ile 92°C arasında değişmektedir. Akışkan debisi 250 m³/saat'dir. 25°C reenjeksiyon sıcaklığı referans alındığında kaynağın 10.8 MW_t ısıtma potansiyeli bulunmaktadır. İnceleme sırasında üç farklı senaryo üzerinde durulmuştur. Bunlar ana başlıklarıyla şu biçimde verilebilir: a) jeotermal akışkandan sadece merkezi ısıtma için yararlanılması, b) jeotermal akışkanın % 50 olmak üzere hem merkezi ısıtma hem de sera ısıtması için kullanılması, c) jeotermal akışkanın sadece sera ısıtması için kullanılması.

Mahmoudi ve arkadaşları [35], jeotermal enerjiden hem ısıtmada yararlanma hem de tuzlu suyu arıtarak serada kullanım ünitesini incelemişlerdir. Mahmoudi ve arkadaşları jeotermal enerji kaynaklarının bol bulunduğu kurak veya nispeten soğuk bölgelerin gelişmesi için bu tür bir sistemin çok olumlu olacağına değinmektedirler. Bu bağlamda, Cezayir örnek çalışma bölgesi olarak ele alınmıştır. Hem bol deniz veya tuzlu su kaynaklarına sahip hem de jeotermal kaynaklar açısından zengin kentler bu sistemler için ideal adaylar olarak değerlendirilmiştir. Bilindiği üzere, kurak bölgeler temiz suya oldukça fazla ihtiyaç duymaktadır. Bu tür sistemler sayesinde, hem sera ısıtması hem de temiz su eldesi sağlanmaktadır. Ayrıca bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynağı olarak jeotermal enerjinin kullanılıyor

olmasının en büyük sebebi, dalgalanma olmaksızın 24 saat enerji sağlayabiliyor olması şeklinde açıklanmaktadır.

Türkiye için jeotermal enerjiden yararlanılarak sera ısıtması son dönemlerde oldukça popüler olmaya başlamıştır. Bu seralarda çoğunlukla domates ve biber yetiştiriciliği yapılmaktadır. 2010 yılı itibariyle Türkiye'deki jeotermal enerji ile ısıtılan sera alanı 2104 dekar ve toplam sağlanan enerji 207.4 MW_t'dir [3-5].

Çizelge 2.2 Türkiye için jeotermal enerjiyle sera ısıtması [3,4]

Yer	Kapasite (MW _t)	Alan (dekar)
Dikili-İzmir	83.7	775
Salihli-Manisa	22.6	350
Turgutlu-Manisa	15.4	110
Balçova-İzmir	10.5	100
Kızıldere-Denizli	40	357
Gümüşköy-Aydın	2.5	50
Diyadin-Ağrı	3.1	2.4
Karacaali-Urfa	25	170
Sındırgı-Balıkesir	3.0	200
Simav-Kütahya	17	100
Toplam	207.4	2104.4

2.3 Jeotermal Enerji Kaynaklı Absorpsiyonlu Soğutma Üzerine Yapılan Çalışmalar

Coşkun ve arkadaşları [36] çalışmalarında; tek etkili bir absorpsiyonlu soğutma ünitesinin Bigadiç jeotermal merkezi ısıtma sistemine bağlanması ile oluşabilecek çevresel faydalar üzerinde detaylı hesaplamalar yapmışlardır. Belirlenen sistemin elektrik kullanımını azaltmasından dolayı çevreye bırakılan CO₂ miktarında büyük oranda katkı sağlayacağını belirtmektedirler.

Coşkun ve arkadaşları [37] çalışmalarında; güneş enerjisi ve jeotermal enerjiyi ortak kullanan hibrid bir soğutma sistemi üzerinde detaylı enerjetik ve ekserjetik incelemede bulunmuşlardır.

Kairouani ve arkadaşları [38] çalışmalarında; jeotermal enerji kullanarak soğutma yapma hakkında ayrıntılı değerlendirmede bulunmuşlardır.

Keçeciler ve arkadaşları [39] çalışmalarında; jeotermal enerji kaynaklı absorpsiyonlu soğutma sisteminin termodinamik incelemesini deneysel olarak gerçekleştirmişlerdir. Bu deneysel çalışma sonrasında sonuçları, 12.5 kg/s akışkan debisine sahip 60°C deki jeotermal kaynaktan 225.57 kW değerinde soğutma etkisi oluşturulabileceğini göstermiştir. Absorber sıcaklığı 30–35°C arasında sabit tutulduğunda, yoğunlaştırıcı sıcaklığı en iyi şartlarda 2–3°C düşmektedir.

2.4 Jeotermal Enerji Kaynaklı Elektrik Üretimi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Arslan [40] yaptığı çalışmada; Kalina çevrimini (KCS-34) kullanarak Simav jeotermal örnek bölgesi için elektrik üretiminin eksergoekonomik değerlendirmesini incelemiştir. Tasarlanan santral için optimum çalışma koşulları ekserji ve yaşam döngüsü maliyeti yaklaşımına göre belirlenmiştir. 41.2 MW güç üretimi sağlayacak bir sistem için enerji ve ekserji verimi % 14.9 ve % 36.2 olarak belirlenmiştir.

Borsukiewicz-Gozdur'un [41] çalışmasında; jeotermal enerji ile çalıştırılan veya desteklenen üç ayrı güç santralinin incelemesini yapmıştır. Bu çalışmada amaç, 80–120°C aralığındaki jeotermal akışkan sıcaklığında en iyi enerji kullanım yöntemini tespit etmektir. İncelenen çevrimler şu şekilde sayılabilir: Organik Rankin Çevrimi (ORC), çift akışkanlı hibrid güç santrali ve tek akışkanlı hibrid güç santrali. Analizler sonrasında çift akışkanlı hibrid güç santralinin daha iyi bir sonuç ortaya koyduğu belirlenmiştir.

Borsukiewicz-Gozdur ve Nowak [42] çalışmalarında; organik akışkan kullanımı temelinde jeotermal güç santrallerinin ürettiği elektrik miktarının artırılmasını araştırmışlardır. Borsukiewicz-Gozdur ve Nowak yaptıkları incelemede, birçok organik akışkan göz önüne alınarak, bir jeotermal güç santrali için incelenmiştir. Çalışmanın sonuçları göstermiştir ki, jeotermal akışkanın

buhar/su oranına bağılı olarak her bir akışkan için tek bir optimum buharlaştırma sıcaklığı bulunmaktadır.

Bruhn [43] çalışmasında; jeotermal ve fosil enerji kaynaklarını birlikte kullanan güç santralleriyle düşük entalpi değerli jeotermal kaynakların kullanılabilirliğini değerlendirmiştir. Bruhn bu yaklaşımı iki adet kömür yakan modern temik santral için analiz etmiştir. Bu birleşik uygulamanın aslında, yer altındaki sıcak kayalardan elde edilen düşük entalpili jeotermal akışkanın kullanımında değerlendirilmek istendiği ifade edilmektedir.

Dağdaş ve arkadaşları [44], Denizli Kızıldere jeotermal güç santralinin termodinamik değerlendirmesinde gerçek verileri kullanarak performans artırım yöntemlerini incelemişlerdir. Dağdaş ve arkadaşlarının çalışmalarındaki bazı önemli sonuçlar şu şekilde verilmiştir, Optimum 'flash' basıncı 200 kPa'dır; çalışma şartlarındaki bazı değişikliklerle enerji üretiminde % 18 artış sağlanabilmektedir.

Dağdaş [45], ekserji analizi ve basınç optimizasyonu metodlarını kullanarak çift akışkanlı (Binary) güç santrallerinin incelemesini yapmıştır. Dağdaş performans kriterlerinin değişimini incelemek için bir bilgisayar programı oluşturulmuştur. Dağdaş incelemesinde 250 kg/s akışkan debisi ve 150°C akışkan sıcaklığında enerji ve ekserji verim değerlerini % 9.065 ve % 34.94 olarak tespit etmiştir.

DiPippo [46-47], düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklardan ikili akışkan jeotermal güç santrallerinde elektrik üretiminin ikinci yasaya göre değerlendirmesini yapmıştır. DiPippo ayrıca ikili akışkan jeotermal güç santralleri için ideal ısıl verimi bulmaya çalışmıştır. Verim değerlendirmesinin Carnot çevrimine göre değil de Triangular çevrimine göre yapılması gerektiğini ifade ederek bunun sebeplerini açıklamıştır.

Franco ve Villani [48], 2009 yılında yapmış oldukları çalışmalarında orta derece sıcaklığa sahip jeotermal sadalardan çiftli akışkan jeotermal güç santrallerinde optimum tasarım kriterlerini belirlemeye çalışmışlardır. Jeotermal akışkan giriş sıcaklığı 110°C ile 160°C arasında değiştiği ve reenjeksiyon sıcaklığının da 70°C ile

100°C arasında değiştiği göz önüne alınarak analizler oluşturulmuştur. İncelemede, kütle debisi ise 20 ile 120 kg/s arasında değişmektedir. Ekserji veriminin % 20 ile % 45 arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Frick ve arkadaşları [49], 2010 yılında yapmış oldukları çalışmalarında düşük sıcaklıkta kaynak kullanan çiftli akışkanlı jeotermal güç santrallerinin yaşam döngüsü analizlerini yapmışlardır.

Gökçen ve arkadaşları [50] çalışmalarında; hem Türkiye'nin jeotermal enerjiden elektrik üretme potansiyelini hem de 20.4 MWe gücündeki Denizli-Kızıldere güç santralini ayrıntılı bir biçimde analiz etmişlerdir.

Gu ve Sato [51] jeotermal enerjiden elektrik üretiminde süper kritik çevrim için çevrim optimizasyon parametrelerini incelemişlerdir. alışmalarında doğru akışkan seçimi ve çevrim parametrelerinin belirlenmesi ile en yüksek ısıl verimlere ulaşılabileceğine değinilmektedir.

Hettiarachchi ve arkadaşları [52], düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynakların kullanılmasında organik Rankine evrimi optimum tasarım parametrelerini incelemişlerdir. Optimizasyon sırasında buharlaşma ve yoğuşma sıcaklığı, jeotermal ve soğutucu su hızları değişken olarak değerlendirmeye alınmıştır. İncelemede değerlendirilen akışkanlar amonyak, HCFC123, n-Pentane ve PF5050'dir.

Heberle ve arkadaşları [53] jeotermal güç santrallerinde organik Rankine evrimi için ekserji parametresini göze önüne alarak akışkan seçimini incelemişlerdir. 450 K'nin altında sıcaklığa sahip jeotermal kaynaklardan güç ve ısı birleşik sistemler bu çalışmada ayrıntılı olarak ele alınmıştır. alışmalarında dört farklı akışkan için kaynak sıcaklığına bağlı enerji ve ekserji verim değerindeki değişimler verilmiştir. alışmalarında santrallerden ısı elde edilmesi ile sistem toplam ekserji veriminin kayda değer bir biçimde arttığını ortaya çıkarmışlardır.

Kanoğlu [54] 2002 yılında yapmış olduğu çalışmada; iki sıcaklık kademesi ile birleşik çalışan ikili akışkan jeotermal güç santralini ekserjetik açıdan incelemiştir.

12.4 MW gücündeki bir santralden alınan gerçek veriler doğrultusunda analizler oluşturulmuştur. Bu çalışmada, herbir eleman için ekserji kayıpları grafiklerle verilmiştir.

Kanoglu ve Bolatturk [55] ikili akışkan jeotermal güç santrali için gerçek verileri kullanarak performans ve ekserji analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında enerji ve ekserji akış diyagramlarıyla sistemin işleyişi verilmiştir. En yüksek ekserji kayıplarının reenjeksiyon bölümünde, ısı eşanjörlerinde ve yoğunlaştırıcı ünitesinde olduğu ortaya konmuştur. Enerji ve ekserji verim değerleri sırasıyla % 4.5 ve % 21.7 olarak bulunmuştur.

Kohla ve Speck [56] düşük entalpili jeotermal alanların daha etkin bir biçimde değerlendirilebilmesi için birleşik güç santrallerini incelemişlerdir. Bunun için bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Bu sayede, bu tür jeotermal sahalarda yüksek enerji ve ekserji verimliliğine ulaşılması beklenmektedir.

Köse [57] yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında en önemli problemlerden birinin enerji seviyesindeki kısa ve uzun dönemli büyük değişimler olduğundan bahsetmektedir. Köse jeotermal enerjinin doğada yüksek oranlarda bulunduğu ve jeotermal kaynağın hava koşullarından direk etkilenmediğini bildirmektedir. Ayrıca, Türkiye'nin Avrupa'nın ikinci en yüksek jeotermal enerji potansiyeline sahip olmasına rağmen, jeotermal enerjiden elektrik üretiminin oldukça düşük seviyede olduğuna değinilmektedir. Köse çalışmasında elektrik üretiminde jeotermal enerjinin kullanımını örneklendirmiş ve Kütahya-Simav bölgesinde bulunan enerji kaynaklarından elektrik üretiminin uygulanabilirliğini araştırmıştır. Köse güç santralının tasarlanması aşamasında ikili çevrim kullanıldığından bahsetmektedir. Bu elektrik santralinde, kaynama noktası sudan düşük olan R134a akışkanı ikincil akışkan olarak seçilmiştir ve tasarlanan santralin ısı verimi % 12.93 olarak öngörülmüştür.

Köse [58] 2005 yılında yaptığı bir çalışmada, Türkiye'de elektrik üretimi için jeotermal enerjinin statüsünü araştırmayı amaçlamıştır. Çalışmanın yapıldığı dönem itibariyle (2005), Denizli-Kizildere jeotermal alanında işletmede olan 20.4

MWe'lik kapasitesiyle bir adet jeotermal elektrik santrali bulunduğundan bahsedilmektedir. Ayrıca, Aydın–Germencik jeotermal alanındaki santralin yapım aşamasında olduğundan bahsedilerek, Kütahya–Simav bölgesinin potansiyeli ve bulunan jeotermal enerji kaynaklarının kullanımını da incelemiştir. Simav–Eynal bölgesinde jeotermal alandan çıkan akışkanın sıcaklığı merkezi ısıtma için çok yüksek olması sebebiyle ikili çevrimle elektrik üretiminin elverişliliği araştırılmıştır. Çevresel nedenlerden dolayı, çevrimde dolaşacak akışkan olarak HCFC–124 seçilmiştir. Kurulum kapasitesi olarak 2.9 MWe'lik bir güç ile 17020 MWh/yıl elektrik enerjisi sağlanabileceği üzerinde durulmuştur. Sonuç olarak çalışmanın uygulanabilirlik değerlendirmesinde, sistemin uygulanabilir olduğu tespitine varılmıştır.

Özcan ve Gokçen [59] flaş buharla çalışan jeotermal güç santrallerinde gaz tahliye ünitelerinin termodinamik incelemesini yapmışlardır. Çalışmalarında, örnek uygulama olarak Kızıldere Jeotermal güç santralini almışlardır.

Sohel ve arkadaşlarının [60] 2009 yılında yapmış oldukları çalışmalarında Rotokawa güç santralini incelemişlerdir. Söz konusu çalışmada Yeni Zellanda için jeotermal enerjinin yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminde çok önemli bir yer tuttuğundan ve elektrik üretimindeki verim değerinin kaynak sıcaklığı ve dış ortam sıcaklığından etkilendiğinden bahsedilmektedir. Çoğu jeotermal güç santrali gibi Rotokawa güç santralinin de hava soğutmalı kondenserle kullanıldığına değinilerek yaz dönemlerinde sulu destek sisteminden yararlanarak yaklaşık 2 MW'lık bir ek destek sağlanabileceği belirtilmiştir.

Thain ve Carey [61] çalışmalarında Wairakei jeotermal güç santralindeki 50 yıllık geçmişi ayrıntılı bir biçimde değerlendirmiş ve ortaya çıkan sorunları araştırmışlardır.

Yari [62] farklı tür güç santralleri için detaylı ekserjetik analizler gerçekleştirmiştir. Yari jeotermal enerjiden güç üreten sistemleri detaylı bir biçimde incelemiş ve her biri için detaylı ekserji analizler ortaya koymuştur. Yari bahsedilen çalışmasında bilim dünyasına oldukça yararlı ve pratik bilgiler sağlamıştır.

Yıldırım ve Gökçen [63] Kızıldere jeotermal güç santralinin enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Yıldırım ve Gökçen enerji kayıplarını ayrıca detaylı bir biçimde irdelemişlerdir.

Wilson ve arkadaşları [64] Yeni Zellanda'daki jeotermal güç santrallerindeki Stibnite (Sb_2S_3) oluşumunun kontrolü için detaylı analiz ve incelemelerde bulunmuşlardır. Birçok önemli tespit ve öneri çalışmada yer almaktadır.

Serpen ve arkadaşları [3,4] 2010 yılı itibariyle yaptıkları çalışmada Türkiye için jeotermal kaynaklardan güç üretiminin 100 MWe'e ulaşmış olduğunu bildirmişlerdir. Türkiye'deki güç santralleri ve genel bilgiler Çizelge 2.2'de ayrıntılı verilmiştir. Türkiye'de jeotermal enerjiden elektrik üretim kapasitesi 4 yıl içinde 4 katına çıkmıştır.

Çizelge 2.3 Türkiye'deki jeotermal güç santralleri ve özellikleri [3]

Jeotermal Güç Santrali	Üretime Geçiş Tarihi	Kurulu Güç (MWe)	Kaynak Sıcaklığı (°C)
Dora-I Salavatlı	2006	7.35	172
Dora-II Salavatlı	2010	11.1	174
Ömerbeyli	2009	47.4	232
Bereket	2007	7.5	145
Tuzla-Çanakkale	2010	7.5	171
Kızıldere-Denizli	1984	17.8	243

2.5 Çoklu Kullanım Üzerine Yapılan Çalışmalar

Literatürde, çoklu kullanım sistemlerinin jeotermal enerji kaynağına entegrasyonu konusunda çok ayrıntılı akademik çalışmalar bulunmamaktadır. Bu nedenle bu bağlamdaki incelemeler sınırlı kalmaktadır.

Arslan ve Köse [65] jeotermal akışkanın bütünleşik sistemlerle kullanımının araştırılmasını amaçlamışlardır. Arslan ve Köse birleşik sistemlerde jeotermal akışkan kullanımının Türkiye için yeni olduğunu ifade etmektedir. Sözü edilen

çalışmada Kütahya Simav bölgesinde bulunan jeotermal kaynağın yüksek sıcaklık seviyesinden dolayı elektrik üretimi, merkezi ısıtma ve kaplıca kullanımı için uygun olduğundan bahsetmektedir. Arslan ve Köse jeotermal enerjinin daha verimli biçimde kullanılabilmesi için çoklu kullanımı önermektedir. Ayrıca sözü edilen çalışmada ikili akışkan sistemiyle elektrik üretimi, merkezi ve sera ısıtmasının ekonomik analizi 21 farklı kombinasyonda incelenmiştir. Sonuç olarak, bu bölgede yatırım yapmayı düşünen yatırımcılar için bir fizibilite çalışması yapılmıştır.

Kanoğlu ve Çengel [66] jeotermal enerji ile güç üretimi, ısıtma ve soğutma yapan sistemlerin ekonomiklik değerlendirmesini yapmışlardır. Tipik bir jeotermal kaynağın ekonomik analizi göstermiştir ki, jeotermal ısıtmadan veya soğutmadan potansiyel kazanç tek başına güç üretiminden çok daha fazla olabilmektedir. Tek başına güç üretimiyle karşılaştırıldığında jeotermal ısıtmada 3.1, jeotermal soğutmada 2.9 kat daha fazla kazanç sağlanabilmektedir. Aynı şekilde tek başına güç üretimiyle karşılaştırıldığında birleşik güç üretimi ve ısıtma uygulaması 2.1 kat, birleşik güç üretimi ve soğutma 1.2 kat daha kazançlıdır. Sözü edilen çalışmada maliyet ve geri ödeme periyodu düşünüldüğünde güç üretiminin daha avantajlı görüldüğü, daha sonrasında da merkezi ısıtmanın geldiği açıklanmıştır.

Rosen ve arkadaşları [67], Edmonton güç santraliyle (Edmonton, Alberta, Canada) birleşik olarak merkezi ısıtma ve soğutma için bir sistem önerisinde bulunmakta ve detaylı termodinamik analizler ortaya koymaktadırlar. Sözü edilen çalışmada birleşik sistem ile toplam enerji ve ekserji veriminin artacağından bahsedilmektedir.

Eliasson ve Björnsson [14]; düşük veya orta kademe jeotermal enerji tabanlı çoklu birleşik enerji sistemi uygulamalarını detaylı biçimde incelemişlerdir. Çalışmalarında tüm kombinasyonlar için gösterimler ortaya konulmuştur, ancak detaylı enerji ve ekserji analizleri yapılmamıştır.

3. GENEL BİLGİLER

3.1 Absorpsiyonlu Soğutma Sistemleri

Absorpsiyonlu soğutma sistemi Fransız Ferdinand Carre tarafından icat edilmiş ve 1860 yılında patenti Amerika'da kendisi tarafından alınmıştır. İngiltere'de Pontifex ve Wood firmaları tarafından 1887 yılında absorpsiyonlu soğutma makinesinin imal edilmesinden sonra bu sahadaki gelişmeler hız kazanmıştır [68,69].

Buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimine benzer olarak absorpsiyonlu soğutmada da alçak ve yüksek basınç kademeleriyle soğutma tesiri sağlanmaktadır. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde akışkan çifti olarak absorber ve soğutucu akışkan kullanılmaktadır. Soğutma sistemleri için en uygun ve en çok kullanılan akışkan çiftlerini $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$ ve $\text{H}_2\text{O-LiBr}$ olarak sayabiliriz. Sıkıştırma işlemi buhar sıkıştırımlı mekanik sistemlerde kompresörle yapılmasına rağmen, absorpsiyonlu sistemlerde bu işlem absorber ve jeneratörden oluşan sistemlerle yapılır. Absorpsiyonlu soğutma sistemleri buhar sıkıştırma sistemlerine genel olarak benzemekle beraber, bu sistemlerde kompresörün yerini absorber, jeneratör, genişleme valfi ve solüsyon pompası almaktadır. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde ısı kaynağının sıcaklığı kademe sayısının seçiminde belirleyici bir kriterdir. Genel anlamda tek etkili sistemlerde 90°C ve iki etkili sistemlerde 150°C sıcaklığındaki ısı kaynakları yeterli olabilmektedir. Sıcaklığın düşmesi sistem verimini düşürmektedir. Son dönemlerde, temel olarak absorpsiyonlu soğutma için 3 ısı kaynağının kullanımı üzerinde durulmuştur. Bu ısı kaynakları güneş enerjisi, jeotermal enerji ve atık ısı olarak ifade edilebilmektedir. Bu üç konu üzerinde yapılmış bir çok inceleme çalışması bulunmuştur [70-86].

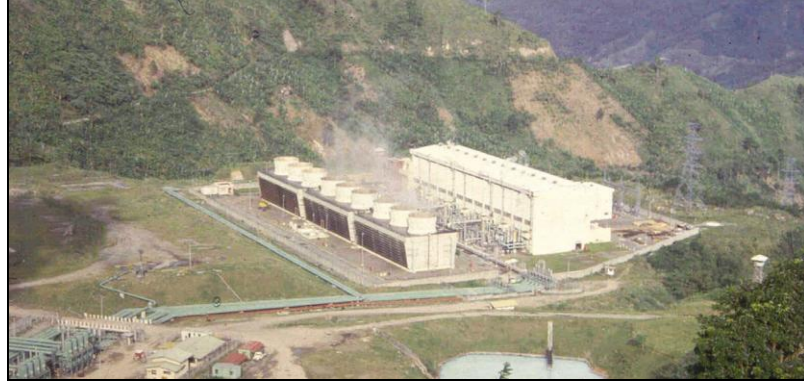
3.2 Jeotermal Güç Santralleri

Jeotermal enerjiden elektrik üretimi deneysel bir çalışmayla ilk olarak 1904-1905 yılları arasında Prince Gionori Conti tarafından yapılmıştır. 250 kWe gücündeki ilk ticari elektrik santrali ise İtalya'nın Larderello şehrinde 1913 yılında hizmete sokulmuştur (Şekil.3.1). Bu gelişmeler daha sonra diğer ülkeler tarafından da takip edilerek, Yeni Zelanda'nın Wairakei şehrinde 1958'de deneysel amaçlı Meksika'nın Pathe şehrinde 1959'da ve Amerika'daki ilk ticari santral 1960'da 'The Geysers' de devreye alınmıştır (Şekil 3.2).

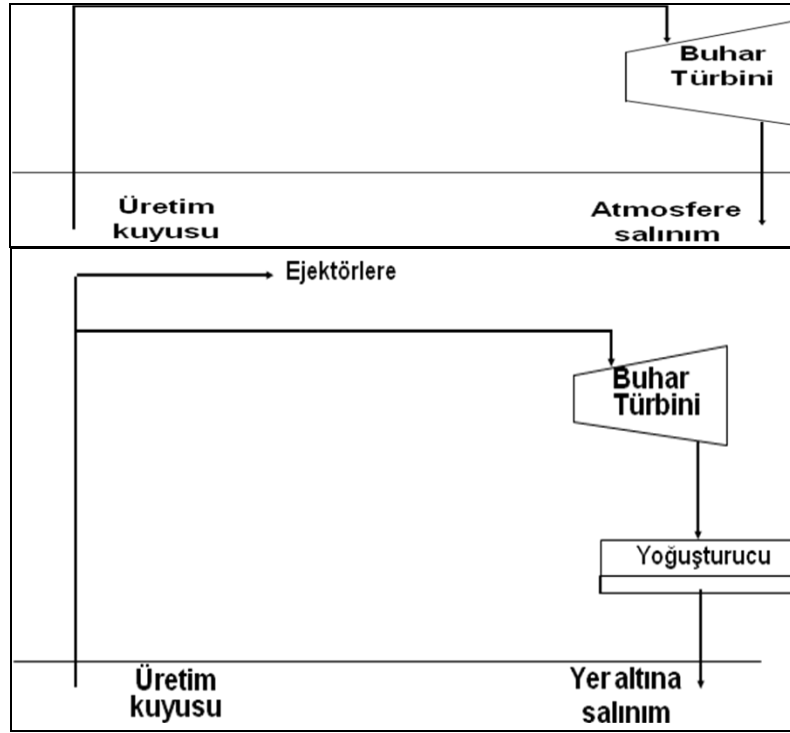
Bu ülkeleri daha sonra Matsukawa şehri'ne 1966'da kurduğu 23 MWe kapasiteli santralle Japonya takip etmiştir. Yeni Zelanda'daki hariç tüm bu enerji santralleri, yeraltından gelen su buharını kullanmaktadır. Kullanılan sistemler kuru buhar güç santralleri olarak adlandırılmaktadır. Kuru buhar güç santrallerinin şematik gösterimi Şekil 3.3'de verilmiştir. İlk olarak, USSR, ilk gerçek ikili sistem elektrik santralinden 81°C'lik suyu kullanarak 680 kWe'lik bir enerji üretimi sağlamıştır. İzlanda, Kuzey İzlanda bölgesinde bulunan Namafjall şehrinde yoğunlaşmaz olan buhar türbini kullanarak 3 MWe'lik bir güç üretilmiştir. Bunları 1970 ve 1980'lerde, El Salvador, Çin, Endonezya, Kenya, Türkiye, Filipinler, Portekiz (Azores), Yunanistan ve Nikaragua jeotermal santraller kurarak takip etmiştir. Daha sonraki santraller ise Tayland, Arjantin, Tayvan, Avustralya, Kosta Rika, Avustralya, Guatemala, Ethopya'da kurulmuştur [10].



Şekil 3.1 İtalya'nın Larderello şehrindeki jeotermal güç santrali



Şekil 3.2 Birleşik Devletler'deki 'The Geysers' jeotermal güç santrali



Şekil 3.3 Kuru buharı kullanan jeotermal güç santrali şematığı

4. TUZLA JEOTERMAL GÜÇ ÜRETİM SİSTEMİ

4.1 Sistem ve Elemanları

Tuzla jeotermal güç santrali Şubat 2010 tarihi itibariyle deneme üretiminin ardından işletmeye alınmıştır. Güç santrali Çanakkale'nin Ayvacık ilçesine bağlı Tuzla köyünde (39° 34'2" Kuzey, 26° 10'33") yer almaktadır. Jeotermal sahada Temmuz 2010 itibariyle 7 kuyu bulunmaktadır. Bu kuyulardan iki tanesi üretim kuyusu (T-9 ve T-16), iki tanesi reenjeksiyon kuyusu (T-15 ve T-10), ikisi gözlem kuyusu ve biri ise işletmede olmayan bir kuyudur. Güç santralinin genel görünümü Şekil 4.1'de verilmiştir. Üretim kuyularında boru sistemi 560 metre derinliğe kadar aşağı inmektedir, ancak açılan kuyular 800 metre derinliğe kadar ulaşmaktadır (Şekil 4.2). Gözlem kuyuları, üretim ve reenjeksiyon kuyularının arasında olacak şekilde yerleştirilmiştir. Yeraltına gönderilen akışkanın haznenin sıcaklığını ne şekilde etkilediği, bu gözlem kuyularından alınan veriler doğrultusunda değerlendirilebilmektedir. Reenjeksiyon sonrasında su sıcaklığının düşmediği incelemeler sonrasında belirlenmiştir. Jeotermal akışkan sıcaklığında düşme olmaması reenjeksiyonun doğru bir noktadan yapıldığını göstermektedir. Jeotermal kaynak sıcaklığı 175°C civarındadır ancak inceleme sırasında kuyu başı sıcaklıklarının 159°C ve 165°C olduğu tespit edilmiştir. Kuyu başında kabuklaşmayı önlemek açısından inhibitör sistemi kullanılmaktadır (Şekil 4.3). Kuyu başında kurulu ayırıcılar (seperatörler) vasıtası ile jeotermal akışkanın basıncı düşürülerek buhar ve sıvı akışkan olarak iki farklı hattan güç santraline ulaştırılmaktadır (Şekil 4.4). Buhar kendi basıncıyla yaklaşık 25-30 m/s bir hızla borulardan güç santraline ulaşmaktadır. Ayırıcılarda ayrılan sıvı haldeki su pompalar yardımıyla 1-2 m/s hızla sisteme gönderilmektedir. Kuyu başlarında yedekli olmak üzere 70 kW gücünde frekans konvertörlü kuyu başı pompaları bulunmaktadır (Şekil 4.5). Jeotermal su/buhar güç santralinde türbinlere gönderilmemektedir. İkili sistem olarak ısısı diğer bir kapalı çevrimde İzopentan'a aktarılarak güç üretimi sağlanmaktadır. İzopentan normal şartlar altında 27.8°C'de buharlaşmaktadır.



Şekil 4.1 Tuzla jeotermal güç santralinin genel bir görünümü



Şekil 4.2 Jeotermal saha ve kuyular (Tuzla)



Şekil 4.3 Üretim kuyularındaki inhibitör sisteminden bir görünüm (Tuzla)



Şekil 4.4 Separatör ünitesi (Tuzla)



Şekil 4.5 Kuyu başındaki pompa ünitesi (Tuzla)



Şekil 4.6 Birleşik türbin ve jeneratör sistemi (Tuzla)

Jeotermal akışkan buhar ve su olarak iki ayrı hat ile buharlaştırma ünitesine girmektedir. Buharlaştırma ünitesinde ısısını İzopentana aktardıktan sonra bir tek hatla buharlaştırma ünitesinden ayrılmaktadır. Daha sonra ön ısıtıcı-II'ye girerek enerjisinin bir bölümünü de bu kısımda aktarmak ve güç santralindeki işletme şartlarına bağlı olarak 90°C ile 105°C arasında reenjeksiyon kuyularına gönderilmektedir. Kapalı çevrimde elektrik üretimi için bir tek türbin kullanılmaktadır (Şekil 4.6). İncelemenin yapıldığı gün itibariyle türbin enerji verimi % 90.2 olarak hesaplanmıştır. Sistemde kullanılan yoğuşurucu veya kondenser sistemi hava soğutmalı bir üniteden oluşmaktadır (Şekil 4.7).

Sistemin şebekeye elektrik iletim kapasitesi 7.5 MW olarak öngörülmektedir. Üretilen elektriğin bir bölümü sistemin işletmede kalabilmesi için gerekli olan cihazların elektrik ihtiyacı için kullanılmaktadır. Bu miktar işletme şartları ve dış hava sıcaklıklarına bağlı olarak üretilen elektriğin % 12 ile % 14'ü arasında değişmektedir. Kış döneminde, kondenser ünitesinde daha fazla soğutma sağlanabilmesi nedeniyle daha yüksek elektrik üretim değerlerine ulaşılabilir. Kış dönemi ortalama dış hava sıcaklığın 2.8°C ve yaz dönemi ortalama sıcaklığın 29.8°C olduğu iki örnek durum için üretilen elektrik miktarları 7.911 ve 4.705 MW olarak tespit edilmiştir. Dış ortam sıcaklığının düşmesi elektrik üretiminin miktarının artmasına olumlu katkı sağlamaktadır. Ancak sistemde üretilen elektrik miktarı 8.2 MW'ı aşmasına otomatik kontrol ünitesi izin vermemektedir. Ortalama sıcaklığın 25.2°C olduğu ve incelemenin yapıldığı gün için türbinden üretilen elektrik miktarı 5.935 MW ve şebekeye iletilen elektrik miktarı 5.165 MW olarak gözlemlenmiştir. Kondenser ünitesi 18 kW gücündeki 30 adet fan ünitesinden oluşmaktadır. Sistemin kurulduğu ilk dönemlerde, bölgedeki elektrik dağıtım hatlarının var olan şekliyle yüksek ölçekte bir güç aktarımına uygun olmaması nedeniyle 6.0 MW'dan daha yüksek elektrik aktarımlarında, elektrik hatlarında büyük sorunlar yaşanmıştır. Ancak sonraki dönemlerde, Ezine-Ayvacık elektrik hattının simülasyonu oluşturulmuş, gerekli trafo sistemleri belirlenmiş ve trafo sistemleri kurulmuştur. Bu trafoların kurulmasıyla yaşanan sorunlar ortadan kaldırılmıştır. Yenilenebilir enerji sistemlerinin sözü edilen elektrik dağıtım hatlarına bağlantısında bu tür sorunlar çoğunlukla ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple dağıtım hatlarının detaylı simülasyonları oluşturulması şarttır. Üretilen elektriğin sisteme verilmesinde karşılaşılan bir diğer

sorun da elektrik hattının 34 kW üzerinde beslenmesinin elektrik dağıtım şirketi tarafından istenmemesinden doğmaktadır. Elektrik dağıtım şirketinden çoğu kez bu konuda uyarılar gelmektedir. Üretilen elektriğin sisteme verilebilmesi için en az 500W'lık bir farkın olması gerekmektedir. Bu sebepten elektrik 34500 W ile sisteme aktarılmaktadır (Şekil 4.8). Sistemin şebekeye elektrik aktarabilmesi için bir diğer gereklilik ise hiçbir şekilde elektrik hattında kesintinin olmamasıdır. Elektrik kesintisi olduğunda sistem bir anda devreden çıkmaktadır. Bu devreden çıkma sırasında PLC otomatik kontrol ünitelerinde büyük ölçüde zararlar meydana gelmektedir. Ayrıca sistemdeki suyun tahliyesi sırasında büyük zorluklar yaşanmaktadır. Üretilen elektrik miktarı doğrudan anlaşmalı elektrik santraliyle yapılan günlük elektrik alım ihalesi sonrasında tespit edilmekte ve o şekilde sisteme verilmektedir. Devletin her gün santrallerden aldığı fiyatlar doğrultusunda ne düzeyde bir elektrik satışının olacağı belirlenmektedir. 1 kW elektrik üretim maliyeti sistem için 5 ile 7 kuruş arasında değişmektedir. Saatlik elektrik satım fiyatları da farklılık göstermektedir. Elektrik satış fiyatları kW başına 3 ile 25 kuruş arasında değişiklik göstermektedir. Sabit bir fiyat anlaşmasının olmaması sistemin işletilmesinde çeşitli güçlükler oluşturmaktadır. Sistemde karşılaşılan en önemli sorun ise buharlaştırıcı ünite ile ön ısıtıcı-II arasındaki borularda Silikat oluşumudur (Şekil 4.9). Silikat oluşumu kuyu başında ve ön ısıtıcı-II sonrasında görülmemektedir. Buharın ve suyun birbirinden ayrılması sonrasında buhar ile sudan ayrılan CO₂, suyun PH değerini değiştirmekte ve silikat problemine neden olmaktadır. Suyun PH değeri 7'den düşük olduğunda silikat problemi yaşanmamaktadır. Silikattan dolayı oluşan kabuklaşma 3 mm'yi genellikle geçmemekte, bu kalınlığın üzerinde silikat tabakasında kopmalar meydana gelmektedir. Silikat oluşumundan dolayı ısı transferinde % 40'lara varan bir azalma meydana gelebilmektedir. Bu problemin aşılması amacıyla çalışmalar sürmektedir. Borulardaki kabuklaşmanın temizlenmesi açısından sistem yaklaşık olarak 40 gün işletmede kalmakta, 1 gün boru ve eşanjör temizliği için durdurulmaktadır.



Şekil 4.7 Yoğuşturucu (kondenser) ünitesi (Tuzla)



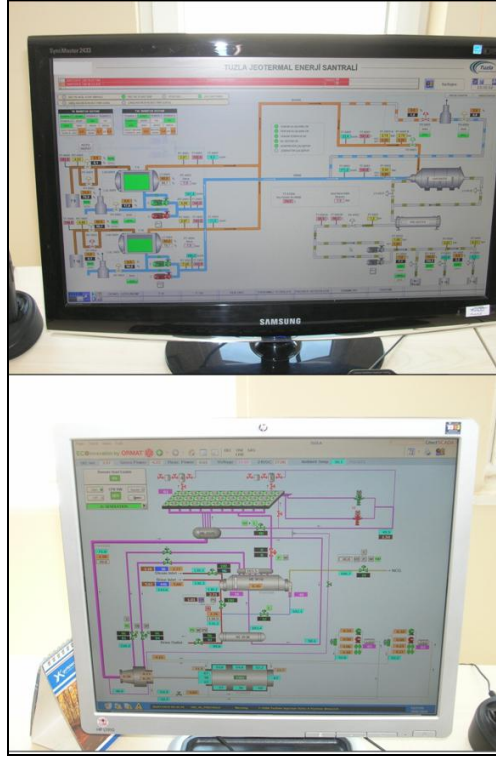
Şekil 4.8 Trafo ünitesi



Şekil 4.9 Borulardaki silikat ve kireçlenme probleminin bir görüntüsü

4.2 Sistemden Gerekli Ölçümlerim Alınması

Elektrik üretim süreci, farklı sensörlerden gelen verileri işleyen otomatik kontrol üniteleriyle sürekli izlenmekte ve kaydedilmektedir (Şekil 4.10). Bu sistem sayesinde sürecin tümündeki verilere, hassas bir biçimde farklı ekranlardan ulaşabilmektedir. Otomatik kontrol ünitesinde görülen sıcaklık ve debi değerlerinin doğruluğu seyyar debimetre ve sıcaklık ölçerler ile kontrol edilmektedir. Bu ölçümler 30 günlük periyotta tekrarlanmaktadır. Otomatik kontrol ünitesinde elde edilen verilerin kontrolü için kullanılan seyyar debi ve sıcaklık ölçüm cihazlarının marka ve özellikleri Çizelge 4.1 ve 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.10 Otomatik kontrol ünitesi ekranından bir kesit

Çizelge 4.1 Kontrol amaçlı kullanılan debimetrenin özellikleri

Markası	Siemens SL-1188
Tipi	Ultrasonik debi ölçer
Ölçüm aralığı	0.02 kg/s
Hasasiyet	$\pm\% 0.5$
Güvenilirlik	$\% 0.15$
Ölçüm yapılabilen boru genişliği	25mm - 5000mm
Ölçüm kayıt yapabilme aralığı	5 ile 1300 saniye

Çizelge 4.2 Kontrol amaçlı kullanılan sıcaklık ölçüm sistemin özellikleri

Markası	Emerson-Rosemount 3144P
Tipi	Sıcaklık Transmitteri
Ölçüm aralığı	0.2°C
Doğruluk	$\% \pm 0.675$

5. MODELLEME ve ANALİZ

5.1 Kabuller

Enerji ve ekserji hesaplamaları sırasında jeotermal akışkanın termodinamik özellikleri saf suya eşit olarak hesaplanmıştır. Jeotermal akışkanın, suyun, buharın ve LiBr-Su çiftinin termodinamik özellikleri Mühendislik Denklem Çözücü (EES) bilgisayar programı kullanılarak tespit edilmiştir. Bahsedilen program, enerji ve ekserji analizlerinde akışkanların termodinamik özelliklerinin belirlenmesinde sıkça tercih edilen bir programdır. Sistem için kütle, enerji ve ekserji denge eşitlikleri aşağıdaki bölümlerde sırasıyla verilmiştir.

5.2 Enerji Analizi

Bu bölümde kütle, enerji ve ekserji denge eşitlikleri hem sistemin tümü hem de tüm elemanları için belirlenmiştir.

$$\sum_{i=1}^n \dot{m}_{gir.} = \sum_{i=1}^n \dot{m}_{çik.} \quad (5.1)$$

Sürekli akışlı açık sistemde, kontrol hacminin toplam enerjisi sabittir. Sürekli akışlı açık bir sistem için genel olarak termodinamiğin birinci yasası veya enerjinin korunumu ilkesi matematiksel olarak Denklem 5.2 ve Denklem 5.3'de verilmiştir.

$$\dot{E}_{gir.} = \dot{E}_{çik.} \quad (5.2)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum_{i=1}^n \dot{m}_{çik.} \cdot h_{çik.} - \sum_{i=1}^n \dot{m}_{gir.} \cdot h_{gir.} \quad (5.3)$$

Absorpsiyonlu soğutma sistemi için enerji dengesi en genel haliyle Denklem 5.4’de verilmiştir.

$$Q_{Jenerator} + Q_{Buharlastirici} + W_{Pompa} = Q_{Yogusturuu} + Q_{Absorver} \quad (5.4)$$

Türbine ait enerji verimliliği en genel haliyle Denklem 5.5’de verilmiştir.

$$\eta_{Turb.} = \frac{\dot{W}_{Turb.}}{\dot{E}_{gir.} - \dot{E}_{cik.}} \quad (5.5)$$

Elektrik türbinin enerji verimi, üretilen elektrik enerjisinin miktarının türbine giren-çıkan akışkan enerji değeri farkına oranlanması ile tespit edilmektedir. Eşanjörün enerji verimliliği ise [25-28], soğuk akışkandaki enerji değişiminin sıcak akışkandaki enerji değişimine oranı şeklinde Denklem 5.6 ile bulunabilir:

$$\eta_{Esj.-Buh.} = \frac{\dot{m}_{sgk}(h_{sgk,cik} - h_{sgk,gir})}{\dot{m}_{sck}(h_{sck,cik} - h_{sck,gir})} \quad (5.6)$$

Pompa için enerji verimliliği, akışkandaki enerji değişiminin pompanın çekmiş olduğu elektrik gücüne bölünmesiyle bulunur.

$$\eta_{pompa} = \frac{\dot{E}_{cik.} - \dot{E}_{gir.}}{\dot{W}_{pompa}} \quad (5.7)$$

5.3 Ekserji Analizi

Ekserji metodu, termodinamik kayıpları sadece birinci kanuna göre değil hem birinci hem de ikinci kanuna dayanarak değerlendiren bir termodinamik analiz metodudur. Ekserji analizinin asıl amacı ısıl ve kimyasal süreçlerin termodinamik

kusurlarının sebeplerini miktar olarak değerlendirmek ve ortaya çıkarmaktır. Bu çalışmada jeotermal akışkanın, suyun, buharın ve LiBr-Su çiftinin spesifik ekserji hesaplama yöntemi Denklem 5.8’de verilmiştir.

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (5.8)$$

Burada ‘ ψ ’ spesifik ekserji’yi göstermektedir. h_0 , s_0 ve T_0 referans çevre şartlarında incelemenin yapıldığı akışkan için entalpi, entropi ve sıcaklık değerlerini ifade etmektedir. Ekserji akısı değeri Denklem 5.9’da verilmiştir.

$$\dot{E}x_i = \sum_{i=1}^n \dot{m}_i [(h_i - h_0) - T_0(s_i - s_0)] \quad (5.9)$$

Burada $\dot{E}x$ sistemde belirtilen herhangi bir noktadaki ekserji miktarıdır. Pompa ve ısı eşanjörü için ekserji yıkımları/kayıpları:

$$\dot{E}x_{ykm,Esj} = \dot{E}x_{gir,Esj} - \dot{E}x_{çik,Esj} \quad (5.10)$$

$$\dot{E}x_{ykm,pompa} = \dot{W}_{pompa} - (\dot{E}x_{gir,pompa} - \dot{E}x_{çik,pompa}) \quad (5.11)$$

Eşanjörün ekserji verimliliği, soğuk akışkandaki ekserji değişiminin sıcak akışkandaki ekserji değişimine oranı şeklindedir:

$$\varepsilon_{Esj} = \frac{\dot{m}_{sgk}(\psi_{sgk,çik} - \psi_{sgk,gir})}{\dot{m}_{sck}(\psi_{sck,çik} - \psi_{sck,gir})} \quad (5.12)$$

Bunun yanında sistemin ekserji verimliliği Denklem 5.13’de verilmiştir.

$$\varepsilon_{sis} = \frac{\dot{E}x_{yararli}}{\dot{E}x_{ja}} = 1 - \frac{\dot{E}x_{Tplm.ykm} + \dot{E}x_{rein.} + \dot{E}x_{Tplm.kyp}}{\dot{E}x_{ja}} \quad (5.13)$$

Burada $\dot{E}x_{ja}$ jeotermal akışkanın kuyubaşındaki toplam ekserjisini ifade etmektedir. $\dot{E}x_{rein.}$ ise sistemden yeraltına pompalanan jeotermal akışkanın ekserjisini ifade etmektedir.

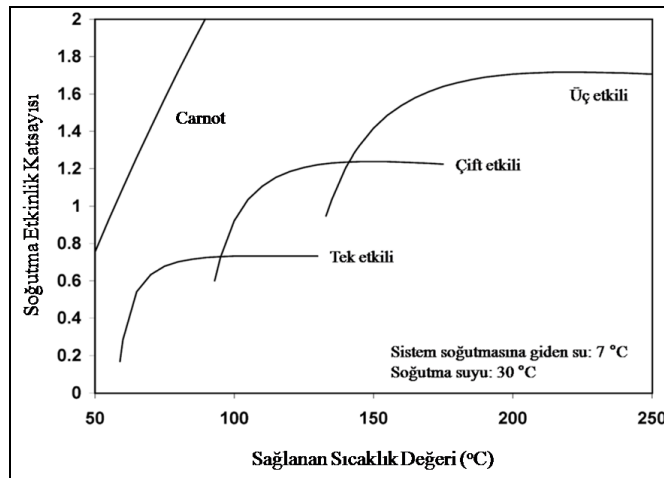
5.4 Absorpsiyonlu Soğutma Çevrimi İçin Temel Kavramlar

5.4.1 Soğutma tesiri katsayısı (STK)

Absorpsiyonlu soğutmada sistem için soğutma tesiri katsayısı Denklem 5.14'de verilmiştir.

$$STK = \frac{Q_{Buharlastirici}}{Q_{Jenerator} + W_{Pompa}} \cong \frac{Q_{Buharlastirici}}{Q_{Jenerator}} \quad (5.14)$$

Çoğunlukla kondenser ile evedaratör arasındaki basınç farkı çok düşük değerlerdedir. Bu sebeple, pompadan sisteme olan iş girdisi jeneratördeki ısı girdisine oranla düşük düzeyde olduğundan çoğu zaman göz ardı edilebilmektedir [87]. STK faktöründeki artış sistemin ekonomik performansı üzerinde pozitif bir etki oluşturmaktadır [88]. Tek çift ve üç etkili sistemler için STK değerinin jeneratör sıcaklığıyla değişimi Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 LiBr–H₂O çifti için sisteme sağlanan su sıcaklığının soğutma etkinlik katsayısına etkisi [89].

5.4.2 Etki

Absorpsiyonlu soğutma sisteminde kullanılan ‘Etki’ terimi, soğutmanın oluşturulması için kaynatıcıda (jeneratör) gerçekleşen ısı enerjisi girdisinin sayısını ifade etmektedir. Çift ve üç etkili sistemlerde tek etkili absorpsiyonlu soğutma sistemine göre daha yüksek Soğutma Tesiri Katsayısına ulaşılabilmektedir [90,91].

5.4.3 Çözelti devirdaim oranı (CDO)

Çözelti devirdaim oranı (CDO), jeneratöre giren seyreltik çözelti kütleli debisinin jeneratörden sisteme verilen soğutucu akışkan kütleli debisine oranı olarak ifade edilebilir.

$$CDO_{exp} = \frac{\dot{m}_{abs-jen} - \dot{m}_{sog.}}{\dot{m}_{sog.}} \quad (5.15)$$

Denklem 5.15’de verilen eşitlikte \dot{m}_{sog} evaporatörde buharlaşan soğutucu akışkan miktarıdır. \dot{m}_{abs} absorber ile jeneratör arasındaki çözelti devirdaim miktarını belirtmektedir. Teorik olarak çözelti devirdaim oranı aşağıdaki biçimde bulunabilir.

$$CDO_{teo} = \frac{X_{jen}}{X_{jen} - X_{abs}} \quad (5.16)$$

Denklem 5.16’da bulunan X terimi LiBr kütleli konsantrasyonunu ifade etmektedir. Çözelti devirdaim oranı sistem performansı üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Düşük çözelti devirdaim oranı yüksek STK değerlerine ulaşılmasını sağlamaktadır. Bunun sebebi şu şekilde ifade edilebilir, belirli bir soğutma kapasitesi için çözelti devirdaim oranındaki artış eşanjörden gelen aşırı soğutulmuş çözeltinin ısıtılması için jeneratörde daha fazla enerji gereksinimine sebep olmaktadır. CDO değerini azaltmak için, jeneratördeki çözelti konsantrasyonu ile absorberdeki konsantrasyon farkının olabildiğince yüksek düzeyde olması gerekmektedir.

5.4.4 Kristalleşme

LiBr-H₂O çözelti absorpsiyonlu soğutma sisteminde çözelti konsantrasyonu ısı eşanjörü dönüşünde 25°C sıcaklık değeri için % 60'dan yüksek olmamalıdır. Bunun sebebi, çözeltinin kristalleşme sorunu oluşturmasıdır. Bu sorun sistemin verimli çalışmasını olumsuz etkilemektedir.

5.4.5 Çözelti Konsantrasyon

Absorpsiyonlu soğutmada çözelti konsantrasyonu (X) değeri Denklem 5.17 ile verilmiştir.

$$X_{LiBr} = \frac{m_{LiBr}}{m_{H_2O} + m_{LiBr}} \quad (5.17)$$

5.5 Enerjetik ve Ekserjetik Performans Parametreleri

5.5.1 İyileştirilebilirlik potansiyeli (IP)

Hammond ve Stapleton [92] tarafından geliştirilen 'iyileştirilebilirlik potansiyeli (IP)' sistemde ne düzeyde bir geliştirilebilirlik potansiyelinin olduğunu göstermektedir.

$$IP = (1 - \varepsilon_i) [\dot{E}x_{i,gir} - \dot{E}x_{i,şik}] \quad (5.18)$$

Coşkun ve arkadaşları [16] jeotermal sistemler için literatüre dört yeni enerjetik ve ekserjetik parametre kazandırılmıştır. Bu parametreler şu şekilde sıralanabilir: Sistem Enerjetik Yenilenebilirlik Oranı (R_{Ren_E}), Sistem Ekserjetik Yenilenebilirlik Oranı ($R_{Ren_{Ex}}$), Enerjetik Reenjeksiyon Oranı (R_{Rein_E}), Ekserjetik

Reenjeksiyon Oranı (R_{ReinEx}). Aşağıda bu parametrelerin detaylı tanımları ve formülleri verilmiştir.

5.5.2 Sistem enerjetik yenilenebilirlik oranı

Yenilenebilir enerji sistemleri için sistemde yararlanılan enerjinin (\dot{E}_{kul}) toplam enerji girdisine ($\dot{E}_{gir.}$) oranı ‘Enerjetik Yenilenebilirlik Oranı’ olarak tanımlanmıştır.

$$R_{RenE} = \frac{\dot{E}_{kul}}{\dot{E}_{gir.}} \quad (5.19)$$

5.5.3 Sistem ekserjetik yenilenebilirlik oranı

Yenilenebilir enerji sistemleri için sistemde yararlanılan ekserjinin ($\dot{E}x_{kul}$) toplam ekserji girdisine ($\dot{E}x_{gir.}$) oranı ‘Ekserjetik Yenilenebilirlik Oranı’ olarak tanımlanmıştır.

$$R_{RenEx} = \frac{\dot{E}x_{kul}}{\dot{E}x_{gir.}} \quad (5.20)$$

5.5.4 Sistem enerjetik reenjeksiyon oranı

Yenilenebilir enerji sistemleri için sistemden jeotermal akışkanla yeraltına veya doğaya bırakılan enerjinin (\dot{E}_{Rein}), sağlanan toplam jeotermal enerjiye oranına ‘Sistem Enerjetik Reenjeksiyon Oranı’ denilmektedir.

$$R_{ReinE} = \frac{\dot{E}_{Rein}}{\dot{E}_{ja}} \quad (5.21)$$

5.5.5 Sistem ekserjetik reenjeksiyon oranı

Yenilenebilir enerji sistemleri için sistemden jeotermal akışkanla yeraltına veya doğaya bırakılan ekserjinin ($\dot{E}x_{Rein}$), sağlanan toplam jeotermal ekserji ye ($\dot{E}x_{ja}$) oranı ‘Sistem Ekserjetik Reenjeksiyon Oranı’dır.

$$R_{Rein_{Ex}} = \frac{\dot{E}x_{Rein}}{\dot{E}x_{ja}} \quad (5.22)$$

5.5.6 Yeni ekserjetik parametreler

Bu çalışmada, literatüre katkıda bulunmak üzere üç yeni ekserjetik parametre verilmektedir. Bunlar sırasıyla, Toplam Ekserji Yıkım Oranı (TEkYO), Sistem Elemanları Ekserji Yıkım Oranı (SEEkYO), Boyutsuz Ekserji Yıkım Oranı (BEkYO). Parametrelerin detaylı açıklamaları alt bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir.

5.5.6.1 Toplam ekserji yıkım oranı (TEkYO)

Sistemdeki ekserji kayıp ve yıkımının toplamının ($\dot{E}x_{Tplm.ykm.}$), tüm ekserji girdi değerine ($\dot{E}x_{Tplm.gir.}$) oranı ‘Toplam Ekserji Yıkım Oranı’ olarak adlandırılmaktadır.

$$TEkYO = \frac{\dot{E}x_{Tplm.ykm.}}{\dot{E}x_{Tplm.gir.}} \quad (5.23)$$

5.5.6.2 Sistem elemanları ekserji yıkım oranı (SEEkYO)

Sistemdeki herhangi bir elemanın ekserji yıkım ve kayıp toplamının ($\dot{E}x_{i,ykm.}$) ekserji girdisine ($\dot{E}x_{Tplm.gir.}$) oranına ‘Sistem Elemanları Ekserji Yıkım Oranı’ denilmektedir. 5.25 ile verilen eşitlikte ‘i’ sistem elemanlarını ifade etmektedir.

$$SEEkYO = \frac{\dot{E}x_{i, ykm.}}{\dot{E}x_{Tplm. gir.}} \quad (5.24)$$

5.5.6.3 Boyutsuz ekserji yıkım oranı (BEkYO)

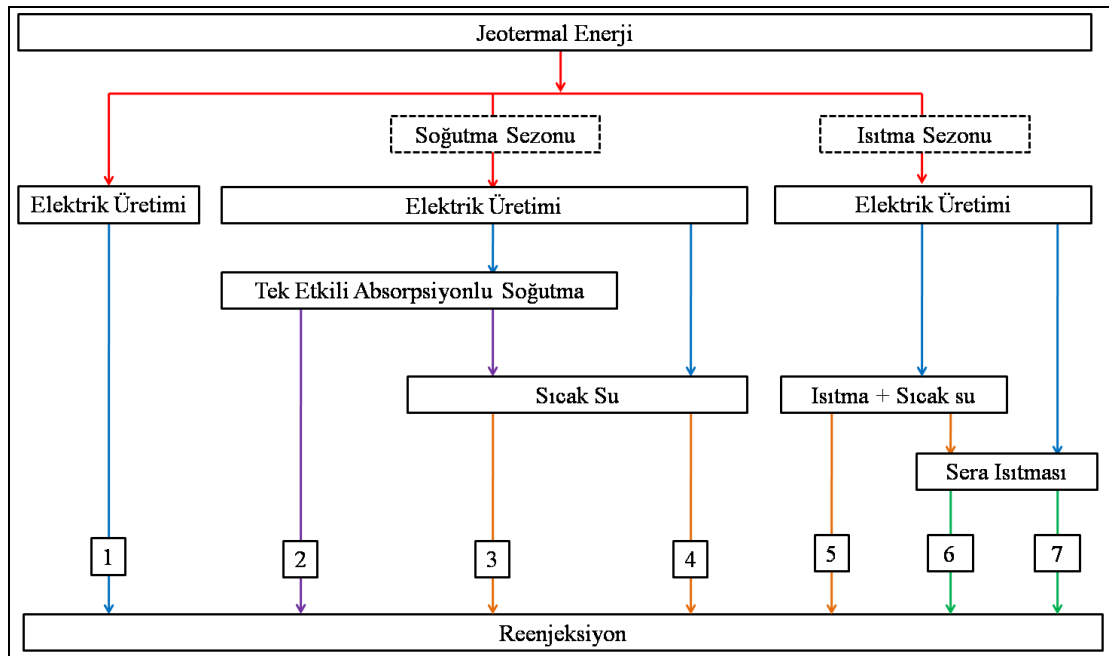
Sistemdeki herhangi bir elemanın ekserji yıkımının ($\dot{E}x_{i, ykm.}$) toplam ekserji yıkımına ($\dot{E}x_{Tplm., ykm.}$) oranı 'Boyutsuz Ekserji Yıkım Oranı' olarak adlandırılmaktadır.

$$BEkYO = \frac{\dot{E}x_{i, ykm.}}{\dot{E}x_{Tplm., ykm.}} \quad (5.25)$$

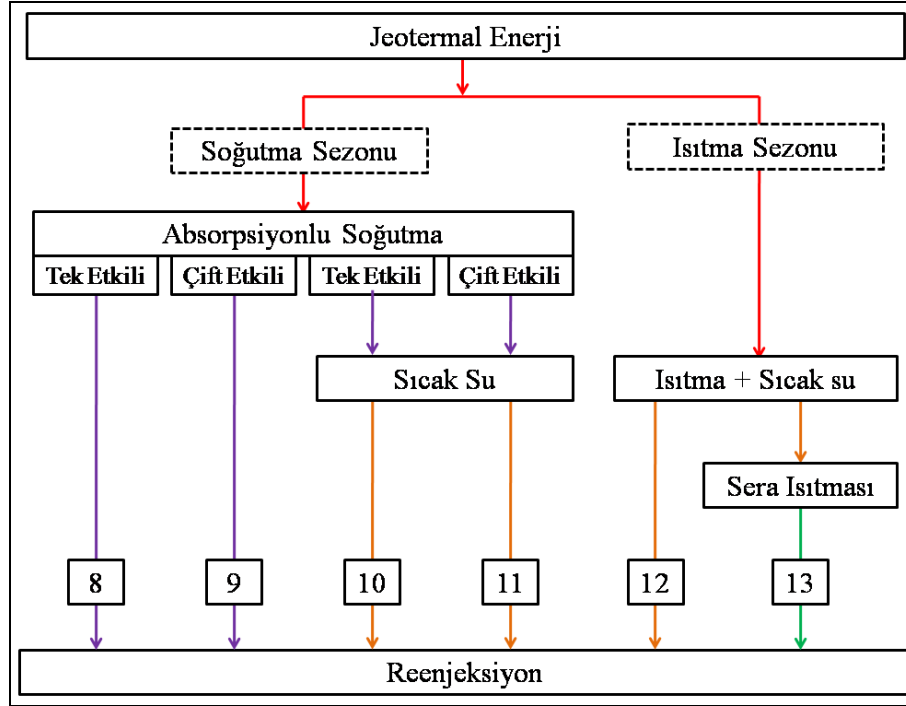
6. SİSTEMİN GELİŞTİRİLMESİ VE MODELİN UYGULANMASI

Jeotermal enerjiden, farklı kıstaslar doğrultusunda birçok yararlanma yöntemi bulunmaktadır. Literatür incelemesi sonucuna göre bu yöntemler şu şekilde sıralanabilir: Elektrik üretimi, merkezi ısıtma ve soğutma, sıcak su ihtiyacının karşılanması, sera ısıtması, hidrojen üretimi, kurutma, ısı pompası uygulamaları v.b.

Bu bölümde elektrik üretimi, merkezi ısıtma ve soğutma, sıcak su ihtiyacının karşılanması, sera ısıtması bölümleri ve kombinasyonları analiz edilmiştir. Analiz, ana hatlarıyla iki bölüme ayrılmaktadır. Bunlar elektrik üretimiyle birleşik sistemler ve elektrik üretimi hariç birleşik sistemler olarak gruplandırılmıştır. Bu iki ana başlık için 13 model kombinasyonun iş akış şemaları Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de verilmektedir.



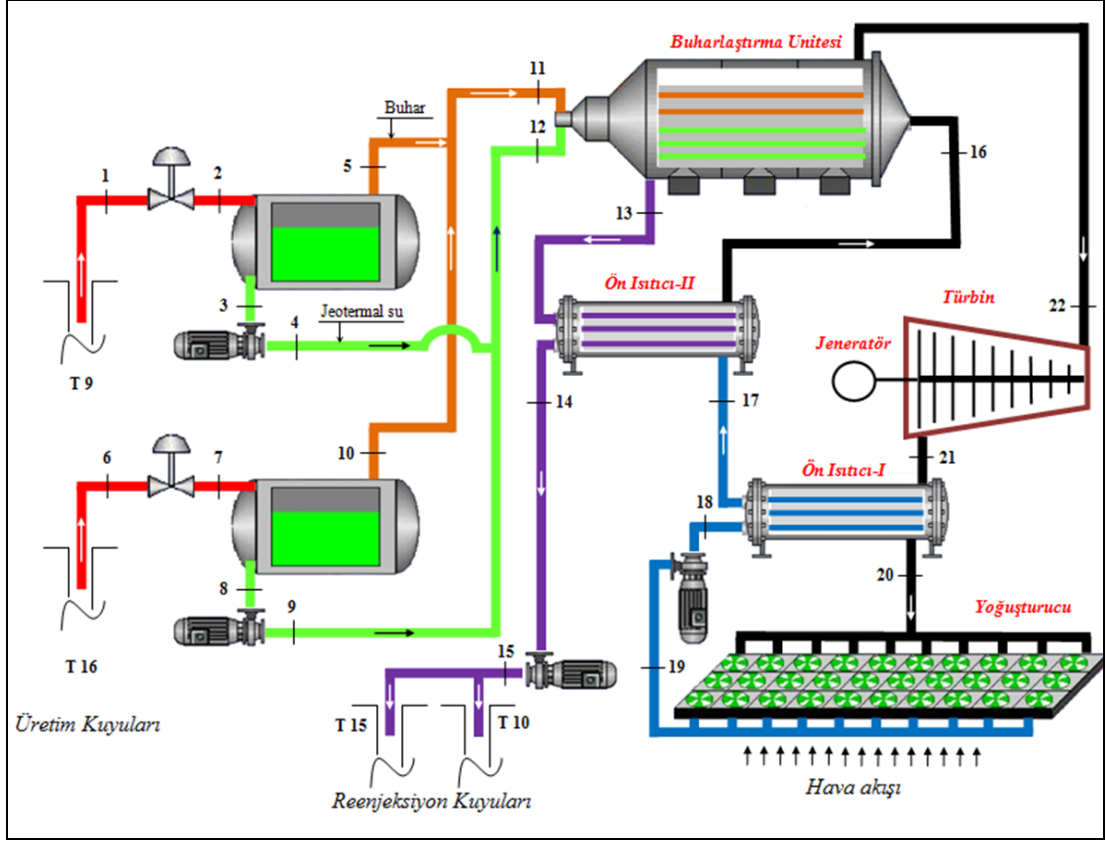
Şekil 6.1 Elektrik üretimiyle birleşik sistem modeline ait iş akış şeması



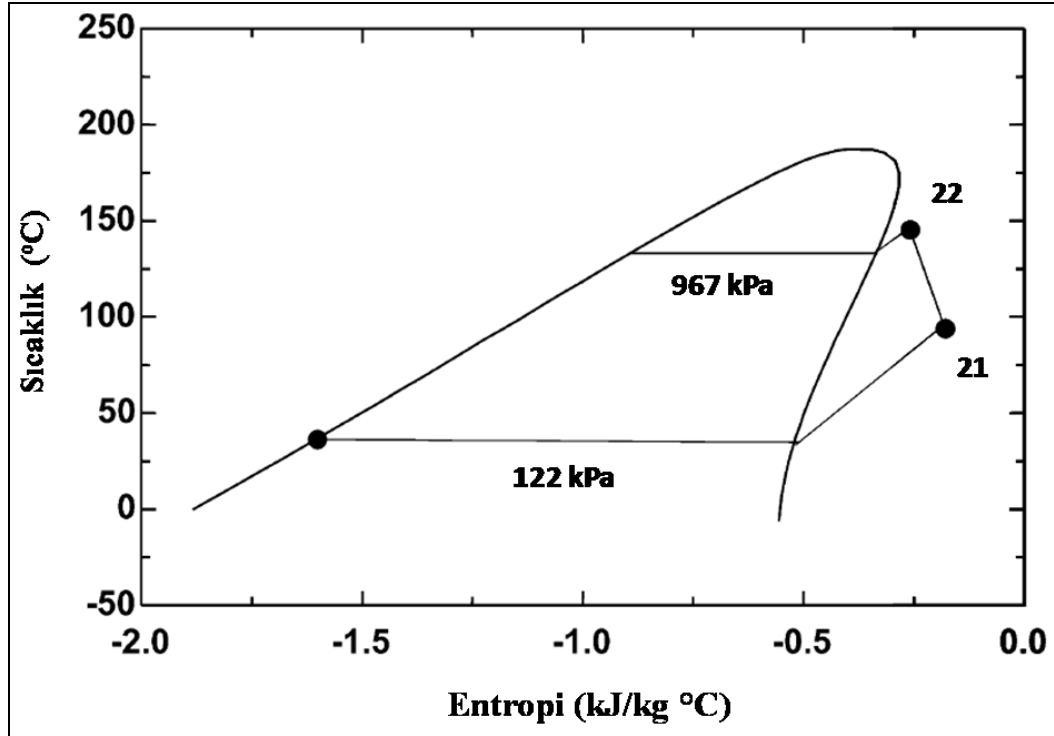
Şekil 6.2 Elektrik üretimi hariç birleşik sistem modeline ait iş akış şeması

6.1 Elektrik Üretim (Mevcut Sistem) Analizi

Elektrik üretiminin elemanları ile şematik gösterimi Şekil 6.3’de verilmiştir. Şekilden anlaşılacağı üzere incelenen elektrik üretim sistemi için kullanılan sistem elemanları, buharlaştırma ünitesi, ön ısıtıcı-I, ön ısıtıcı-II, türbin, yoğuşturucu, pompalar, ayırıcılar (seperatörler) ve reenjeksiyon bölümü olarak sayılabilir. Sistemin sıcaklık-entropi diyagramı Şekil 6.4’de verilmiştir. Yapılan hesapların daha iyi anlaşılması açısından örnek bir gün için kullanılan veriler ve bu verilere ait termodinamik değerler Çizelge 6.1’de verilmiştir. Bu çizelge yardımı ile belirlenen herhangi bir noktadaki akışkanın cinsi, kütleli debisi, basınç, sıcaklık, entalpi, entropi, enerji ve ekserji değerleri kolaylıkla görülebilmektedir. Sistem elemanlarının enerji-ekserji verim değerleri, ısı kayıpları, ekserjetik yıkım/kayıp değerleri Çizelge 6.2’de tablo olarak belirtilmiştir. Tuzla jeotermal elektrik üretimi için Sankey ve Grosman diyagramı sırasıyla Şekil 6.5 ve Şekil 6.6’da verilmiştir. Hesaplama prosedürünün daha iyi anlaşılması açısından enerji ve ekserji hesapları için kullanılan formüller Bölüm 6.1.1 ve 6.1.3 arasında verilmiştir.



Şekil 6.3 Elektrik üretiminin iş akış şeması (Tuzla mevcut durumu).



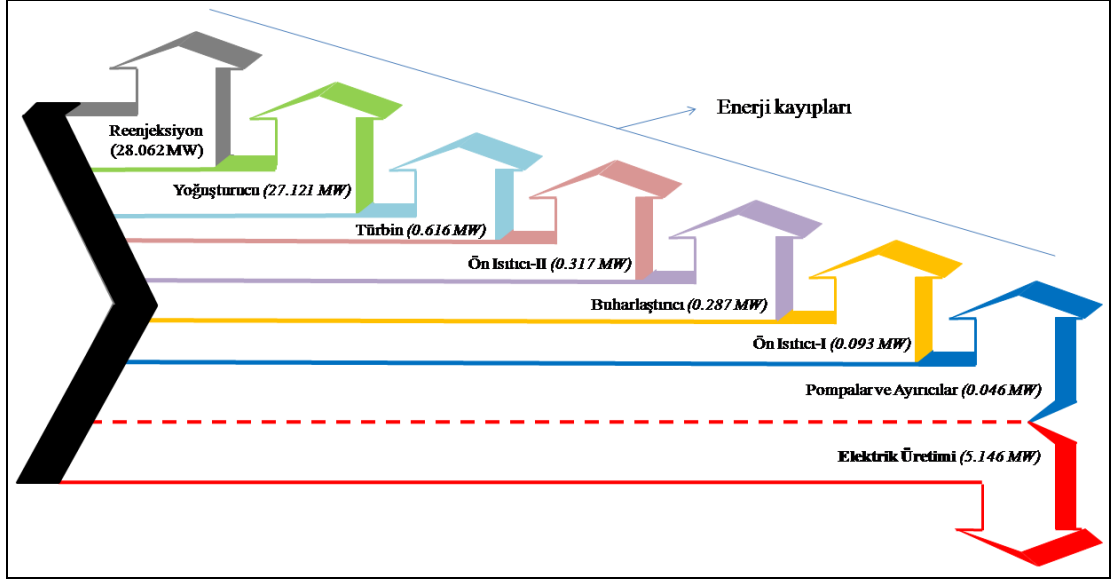
Şekil 6.4 Tuzla jeotermal elektrik üretim sistemi için Sıcaklık-Entropi diyagramı

Çizelge 6.1 Tuzla jeotermal elektrik üretim sistemi için termodinamik özellikler, enerji ve ekserji değerleri

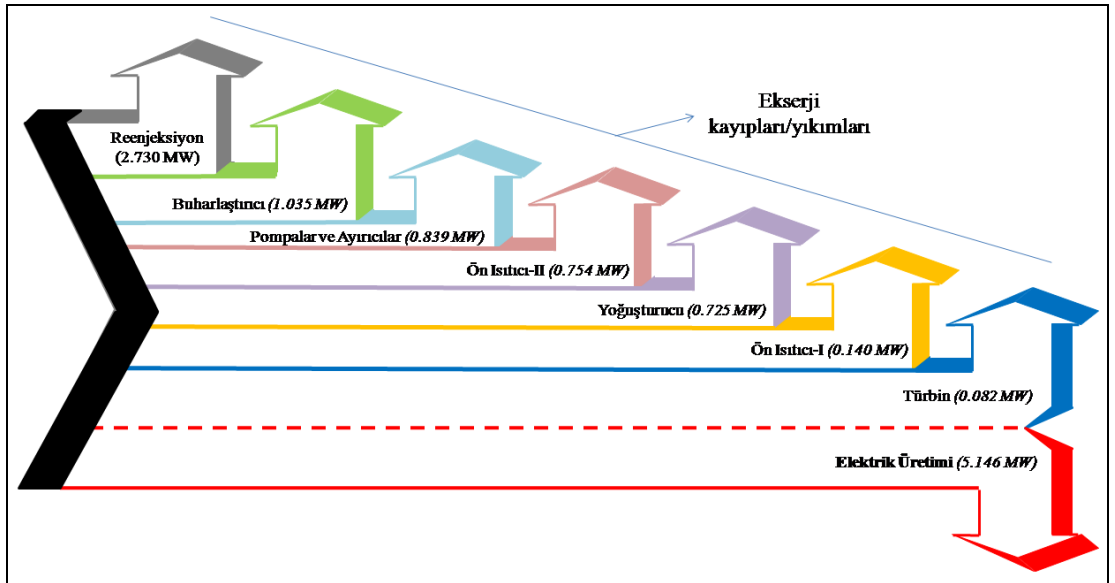
Kesit No	Akışkan	Debi \dot{m} (kg/s)	Sıcaklık T (°C)	Basınç P (kPa)	Entalpi h (kJ/kg)	Entropi s (kJ/kg°C)	Enerji \dot{E} (MW)	Ekserji \dot{E}_x (MW)
0	Izopen.	-	25.4	101	-349.1	-1.687	-	-
0	Su	-	25.4	101	106.6	0.373	-	-
1	JS	79.11	156.8	570	692.0	1.959	46.311	8.871
2	JS+B	79.11	142.8	391	691.8	1.986	46.295	8.218
3	JS	75.75	142.8	391	601.2	1.769	37.466	5.911
4	JS	75.75	142.9	772	601.9	1.769	37.518	5.964
5	B	3.36	142.8	391	2737	6.903	8.838	2.291
6	JS	23.42	164.2	687	794.0	2.214	16.099	3.233
7	JS+B	23.42	142.8	391	793.8	2.231	16.094	3.110
8	JS	21.31	142.8	391	601.2	1.769	10.540	1.663
9	JS	21.31	142.9	728	601.8	1.769	10.552	1.676
10	B	2.11	142.8	391	2737	6.903	5.550	1.439
11	B	5.47	141.5	377	2735.4	6.915	14.380	3.701
12	JS	97.06	142.6	550	600.4	1.766	47.928	7.583
13	JS	102.53	116.5	320	489.1	1.490	39.218	5.043
14	JS	102.53	90.6	240	379.7	1.200	28.001	2.699
15	JS	102.53	90.7	540	380.3	1.201	28.062	2.730
16	Izopen.	77.80	103.5	967	-153.2	-1.111	15.241	1.869
17	Izopen.	77.80	49.0	967	-293.3	-1.512	4.341	0.279
18	Izopen.	77.80	32.8	967	-331.6	-1.633	1.362	0.108
19	Izopen.	77.80	32.7	120	-332.4	-1.632	1.299	0.022
20	Izopen.	77.80	38.4	122	16.2	-0.495	28.420	0.747
21	Izopen.	77.80	60.2	126	55.7	-0.376	31.493	1.058
22	Izopen.	77.80	121.4	967	139.9	-0.353	38.044	7.075

Çizelge 6.2 Tuzla jeotermal elektrik üretim sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri

Sistem Bileşenleri	Isıl kayıplar (MW)	Ekserji Yıkmaları /Kayıpları (MW)	Enerji verimi (%)	Ekserji verimi (%)	IP (MW)
Buharlaştırıcı	0.287	1.035	98.75	83.41	172
Ön Isıtıcı-I	0.093	0.140	96.96	54.97	63
Ön Isıtıcı-II	0.317	0.754	97.17	67.84	242
Türbin	0.616	0.082	90.60	98.60	2
Pompalar	0.030	0.038	86.16	82.81	7
Ayırıcılar	0.016	0.801	99.97	90.24	78
Yoğuşturucu	27.121	0.725	-	-	-
Reenjeksiyon	28.062	2.730	-	-	-

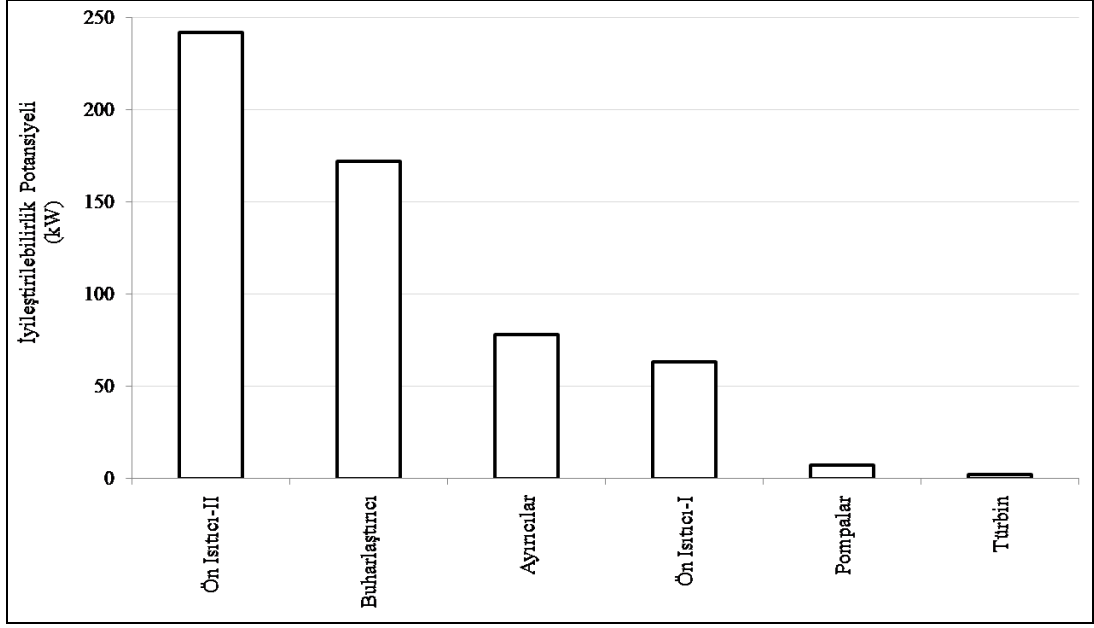


Şekil 6.5 Tuzla jeotermal güç üretim sistemi için Sankey diyagramı

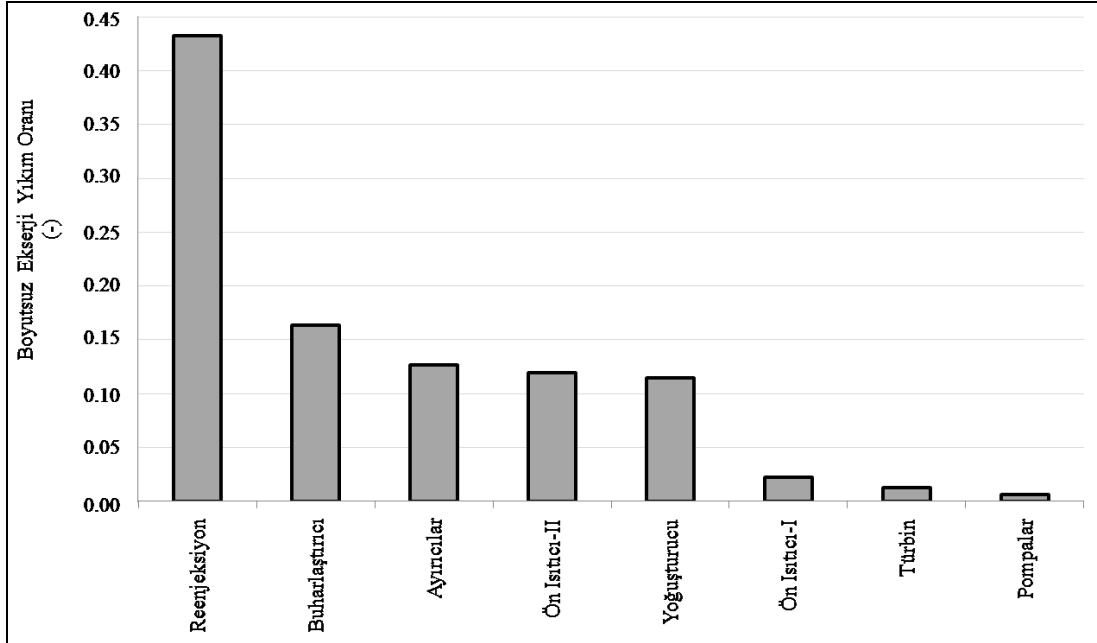


Şekil 6.6 Tuzla jeotermal güç üretim sistemi için Grosman diyagramı

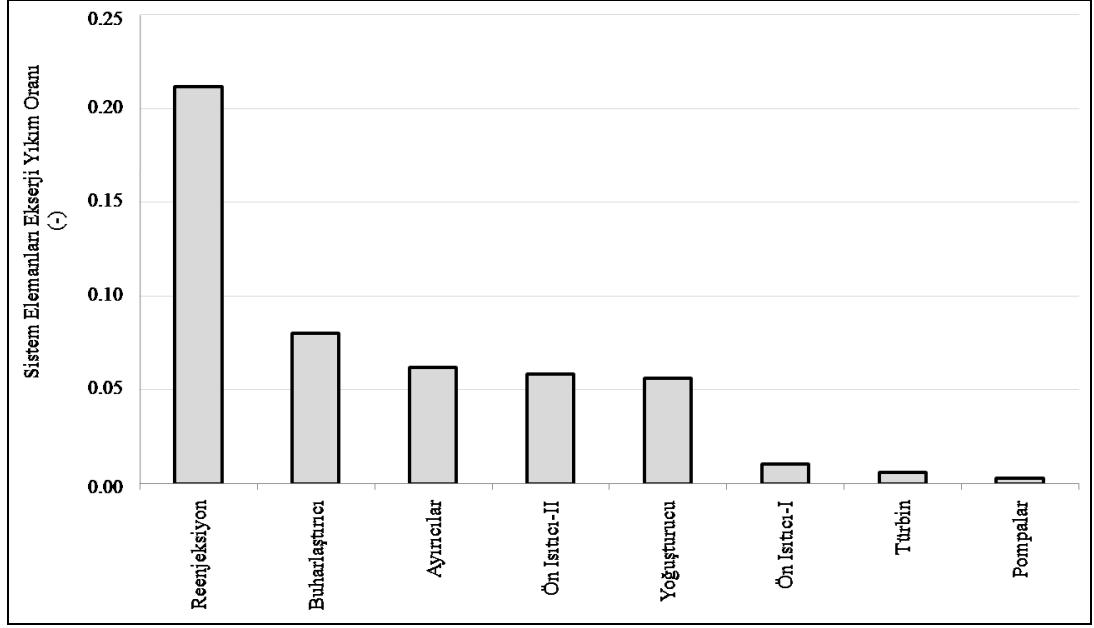
Jeotermal kaynaklı elektrik üretim sistem elemanları için iyileştirilebilirlik potansiyeli tespit edilerek Şekil 6.7’de görsel bir biçimde sunulmuştur. Şekil 6.7’den görüleceği üzere en yüksek iyileştirilebilirlik potansiyeli ön ısıtıcı-II’de gerçekleşmektedir. Buna ek olarak Boyutsuz ekserji yıkım oranının jeotermal kaynaklı elektrik üretim sistem elemanlarına bağlı dağılımı ve sistem elemanları ekserji yıkım oranlarının dağılımı sırasıyla Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da verilmiştir.



Şekil 6.7 Jeotermal kaynaklı elektrik üretim sistem elemanları için iyileştirilebilirlik potansiyeli



Şekil 6.8 Boyutsuz ekserji yıkım oranının jeotermal kaynaklı elektrik üretim sistem elemanlarına bağlı dağılımı



Şekil 6.9 Jeotermal kaynaklı elektrik üretim sistem elemanları ekserji yıkım oranlarının dağılımı

6.1.1 Enerji analizi

Sistemin herhangi bir kesitindeki enerji akısı değeri Denklem 6.1’de verildiği biçimde hesaplanmıştır.

$$\dot{E}_i = \dot{m}_i \cdot (h_i - h_0) \quad (6.1)$$

Verilen eşitlikte h ile verilen kavram entalpi değerini ortaya koymaktadır. Güç santralinin enerji verimi aşağıdaki biçimde ifade edilmiştir.

$$\eta_{sis.} = \frac{\dot{E}_{net}}{\dot{E}_{gir.}} \quad (6.2)$$

Denklem 6.2 ile verilen eşitlikte \dot{E}_{in} ve \dot{E}_{net} sırasıyla sisteme giren enerji ve net enerji çıktısını ifade etmektedir.

$$\dot{E}_{net} = \dot{W}_{Turb.} - \dot{W}_{ieg.} \quad (6.3)$$

$$\dot{E}_{gir.} = \dot{E}_1 + \dot{E}_6 \quad (6.4)$$

Denklem 6.4 ile verilen eşitlikte $\dot{W}_{Turb.}$ ile ifade edilen kavram türbinde üretilen elektrik gücünü ifade etmektedir. $\dot{W}_{ieg.}$ işletme elektrik sarfiyatını ifade etmektedir. Bilindiği üzere tüm elektrik santrallerinde pompaların, fanların ve diğer ekipmanların işletilmesi için bir elektrik gideri bulunmaktadır. İzopentan güç çevriminin enerji verim değeri Denklem 6.5’de verilmiştir.

$$\eta_{ipc.} = \frac{\dot{W}_{Turb.}}{(\dot{E}_{11} + \dot{E}_{12}) - \dot{E}_{14}} \quad (6.5)$$

Ön ısıtıcı-I ve II için enerji kaybı Denklem 6.6 ve Denklem 6.7 ile verilen eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$\dot{E}_{kyp.,OI-I} = (\dot{E}_{18} + \dot{E}_{21}) - (\dot{E}_{20} + \dot{E}_{17}) \quad (6.6)$$

$$\dot{E}_{kyp.,OI-II} = (\dot{E}_{13} + \dot{E}_{17}) - (\dot{E}_{14} + \dot{E}_{16}) \quad (6.7)$$

Ön ısıtıcılar için enerji verim değeri Denklem 6.8 ve Denklem 6.9 ile verilen eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$\eta_{OI-I} = \frac{\dot{E}_{17} - \dot{E}_{18}}{\dot{E}_{21} - \dot{E}_{20}} \quad (6.8)$$

$$\eta_{OI-II} = \frac{\dot{E}_{16} - \dot{E}_{17}}{\dot{E}_{13} - \dot{E}_{14}} \quad (6.9)$$

Türbin için ısıl kayıp ve izentropik verim değeri Denklem 6.10 ve Denklem 6.11 ile verilen eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$\dot{E}_{kyp.,Turb.} = (\dot{E}_{22} - \dot{E}_{21}) - \dot{W}_{Turb.} \quad (6.10)$$

$$\eta_{Turb.} = \frac{\dot{W}_{Turb.}}{\dot{E}_{22} - \dot{E}_{21}} \quad (6.11)$$

Buharlaştırma ünitesi için ısı kayıp ve enerji verim değeri Denklem 6.12 ve Denklem 6.13 ile verilen eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$\dot{E}_{kyp., Buh.} = (\dot{E}_{11} + \dot{E}_{12} + \dot{E}_{16}) - (\dot{E}_{13} + \dot{E}_{22}) \quad (6.12)$$

$$\eta_{Buh.} = \frac{(\dot{E}_{22} - \dot{E}_{16})}{(\dot{E}_{11} + \dot{E}_{12} - \dot{E}_{13})} \quad (6.13)$$

İki separator ünitesi için ısı kayıpları ve enerji verim değeri Denklem 6.14 ve Denklem 6.15 ile verilen eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$\dot{E}_{kyp., Sep.} = (\dot{E}_1 + \dot{E}_6) - (\dot{E}_3 + \dot{E}_5 + \dot{E}_8 + \dot{E}_{10}) \quad (6.14)$$

$$\eta_{Sep.} = \frac{(\dot{E}_3 + \dot{E}_5 + \dot{E}_8 + \dot{E}_{10})}{(\dot{E}_1 + \dot{E}_6)} \quad (6.15)$$

Pompa, yoğuşturucu ve reenjeksiyon ünitesinden oluşan ısı kayıpları Denklem 6.16 ile Denklem 6.18 arasında verilen eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$\dot{E}_{kyp., Pompa} = \dot{W}_{Pompa} - (\dot{E}_{cik.} - \dot{E}_{gir.}) \quad (6.16)$$

$$\dot{E}_{kyp., Yog.} = \dot{E}_{20} - \dot{E}_{19} \quad (6.17)$$

$$\dot{E}_{kyp., Rein.} = \dot{E}_{15} \quad (6.18)$$

6.1.2 Ekserji analizi

Spesifik akış ekserjisi (ψ) Denklem 6.19 ile verilen eşitlikle hesaplanmıştır.

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (6.19)$$

Denklem 6.19 ile verilen eşitlikte T_0 , h_0 ve s_0 referans çevre sıcaklığı, referans entalpi ve entropi'yi ifade etmektedir. Spesifik akış ekserjisi ile kütleinin çarpımı, istenilen bir noktadaki ekserji değerini vermektedir.

$$\dot{E}x_i = \dot{m}_i [(h_i - h_0) - T_0 (s_i - s_0)] \quad (6.20)$$

Güç santralinin net ekserji verimi Denklem 6.21 ile verilen eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$\varepsilon_{sis.} = \frac{\dot{E}x_{net}}{\dot{E}x_{gir.}} \quad (6.21)$$

Denklem 6.21 ile verilen eşitlikte $\dot{E}x_{in}$ ve $\dot{E}x_{net}$ sırasıyla sisteme giren ekserji ve net ekserji çıktısını ifade etmektedir.

$$\dot{E}x_{net} = \dot{W}_{Turb.} - \dot{W}_{ieg.} \quad (6.22)$$

$$\dot{E}x_{gir.} = \dot{E}x_1 + \dot{E}x_6 \quad (6.23)$$

Izopentan güç çevriminin ekserji verim değeri Denklem 6.24 ile verilen eşitlikle hesaplanmıştır.

$$\varepsilon_{ipc.} = \frac{\dot{W}_{Turb.}}{(\dot{E}x_{11} + \dot{E}x_{12}) - \dot{E}x_{14}} \quad (6.24)$$

Ön ısıtıcı-I ve II için ekserji kaybı/yıkımı Denklem 6.25 ve Denklem 6.26 ile verilen eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$\dot{E}x_{ky.,OI-I} = (\dot{E}x_{18} + \dot{E}x_{21}) - (\dot{E}x_{20} + \dot{E}x_{17}) \quad (6.25)$$

$$\dot{E}x_{ky.,OI-II} = (\dot{E}x_{13} + \dot{E}x_{17}) - (\dot{E}x_{14} + \dot{E}x_{16}) \quad (6.26)$$

Ön ısıtıcılar için ekserji verim değeri Denklem 6.27 ve Denklem 6.28 ile verilen eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$\varepsilon_{OI-I} = \frac{\dot{E}x_{17} - \dot{E}x_{18}}{\dot{E}x_{21} - \dot{E}x_{20}} \quad (6.27)$$

$$\varepsilon_{OI-II} = \frac{\dot{E}x_{16} - \dot{E}x_{17}}{\dot{E}x_{13} - \dot{E}x_{14}} \quad (6.28)$$

Türbin için ekserji kayıp/yıkım ve verim değeri Denklem 6.29 ve Denklem 6.30 ile verilen eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$\dot{E}x_{ky.,Turb.} = (\dot{E}x_{22} - \dot{E}x_{21}) - \dot{W}_{Turb.} \quad (6.29)$$

$$\varepsilon_{Turb.} = \frac{\dot{W}_{Turb.}}{\dot{E}x_{22} - \dot{E}x_{21}} \quad (6.30)$$

Buharlaştırma ünitesi için ekserji kayıp/yıkım ve verim değeri Denklem 6.31 ve Denklem 6.32 ile verilen eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$\dot{E}x_{ky.,Buh.} = (\dot{E}x_{11} + \dot{E}x_{12} + \dot{E}x_{16}) - (\dot{E}x_{13} + \dot{E}x_{22}) \quad (6.31)$$

$$\varepsilon_{Buh.} = \frac{(\dot{E}x_{22} - \dot{E}x_{16})}{(\dot{E}x_{11} + \dot{E}x_{12} - \dot{E}x_{13})} \quad (6.32)$$

İki separator ünitesi için ekserji kayıp/yıkım ve verim değeri Denklem 6.33 ve Denklem 6.34 ile verilen eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$\dot{E}x_{ky.,Sep.} = (\dot{E}x_1 + \dot{E}x_6) - (\dot{E}x_3 + \dot{E}x_5 + \dot{E}x_8 + \dot{E}x_{10}) \quad (6.33)$$

$$\varepsilon_{Sep.} = \frac{(\dot{E}x_3 + \dot{E}x_5 + \dot{E}x_8 + \dot{E}x_{10})}{(\dot{E}x_1 + \dot{E}x_6)} \quad (6.34)$$

Pompa, yoğuşturucu ve reenjeksiyon ünitesinden oluşan ekserji kayıp/yıkım değerleri Denklem 6.35 ile Denklem 6.37 arasında verilen eşitliklerle hesaplanmıştır.

$$\dot{E}x_{ky.,Pompa} = \dot{W}_{Pompa} - (\dot{E}x_{cik.} - \dot{E}x_{gir.}) \quad (6.35)$$

$$\dot{E}x_{ky.,Yog.} = \dot{E}x_{20} - \dot{E}x_{19} \quad (6.36)$$

$$\dot{E}x_{ky.,Rein.} = \dot{E}x_{15} \quad (6.37)$$

6.1.3 Enerji ve ekserji performans parametresi

İyileştirilebilirlik potansiyeli (IP) Denklem 6.38 ile verilen eşitlikten bulunabilmektedir.

$$IP = (1 - \varepsilon) [\dot{E}x_{gir.} - \dot{E}x_{cik.}] \quad (6.38)$$

Enerjetik ve ekserjetik yenilenebilirlik oranları sırasıyla R_{Ren_E} ve $R_{Ren_{Ex}}$ olarak Denklem 6.39 ve Denklem 6.40 ile verilen eşitliklerden hesaplanmıştır.

$$R_{Ren_E} = \frac{\dot{W}_{Turb.}}{\dot{E}_{gir.} + \dot{W}_{ieg.}} \quad (6.39)$$

$$R_{Ren_{Ex}} = \frac{\dot{W}_{Turb.}}{\dot{E}x_{gir.} + \dot{W}_{ieg.}} \quad (6.40)$$

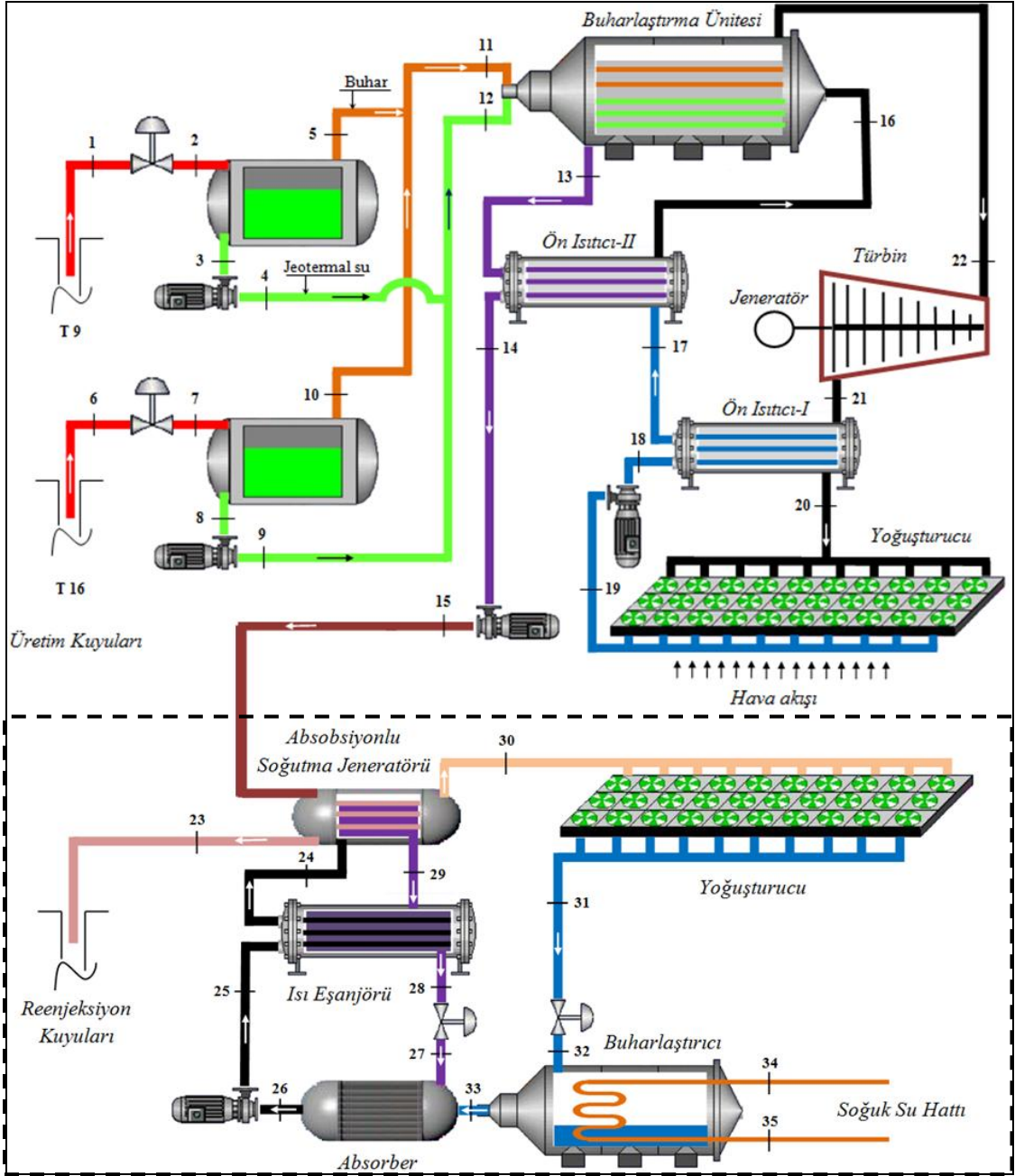
Sistem enerjetik ve ekserjetik reenjeksiyon oranları sırasıyla R_{Rein_E} ve $R_{Rein_{Ex}}$ olarak Denklem 6.41 ve Denklem 6.42 ile verilen eşitliklerden hesaplanmıştır.

$$R_{Rein_E} = \frac{\dot{E}_{15}}{\dot{E}_{gir.} + \dot{W}_{ieg.}} \quad (6.41)$$

$$R_{Rein_{Ex}} = \frac{\dot{E}x_{15}}{\dot{E}x_{gir.} + \dot{W}_{ieg.}} \quad (6.42)$$

6.2 Elektrik Üretimi (EÜ) ve Tek Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (TEAS) Birleşik Enerji Sistemi Analizi

Elektrik üretim sistemine tek etkili absorbsiyonlu soğutma sistemin eklenmesiyle oluşan birleşik sisteminin şematik gösterimi, termodinamik özellikleri ve performans değerleri sırasıyla Şekil 6.10, Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4'de verilmiştir. Tek etkili absorbsiyonlu soğutma sistemi için Basınç-Sıcaklık değişiminin gösterimi Şekil 6.11'de görsel bir biçimde ifade edilmiştir. Elektrik üretimi ve tek etkili absorbsiyonlu soğutma birleşik sistemi için Sankey ve Grosman diyagramları sırasıyla Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'de verilmiştir. Analizler ve hesaplamalar sonrasında Şekil 6.14'de görüldüğü biçimde sistem elemanları için en yüksek iyileştirilebilirlik potansiyeli absorbsiyonlu soğutma ünitesinde yer alan jeneratör (kaynatici) kısmında bulunmaktadır. Boyutsuz ekserji yıkım oranı ve sistem elemanları ekserji yıkım oranı dağılımı grafikleri (Şekil 6.15 ve Şekil 6.16) incelendiğinde en yüksek enerji ve ekserji kaybının reenjeksiyon bölümünden kaynaklandığı görülmüştür. Kullanılan enerjinin ve ekserjinin enerji sistemlerine bağlı yüzdesel dağılımı Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'de grafiksel olarak ortaya konulmuştur. Bu sayede enerji ve ekserji dağılımı daha kolay bir biçimde karşılaştırılabilmektedir. Grafiklerden anlaşılacağı üzere kullanılan ekserjinin % 97 gibi büyük bir bölümü elektrik üretim bölümünde harcanmaktadır.



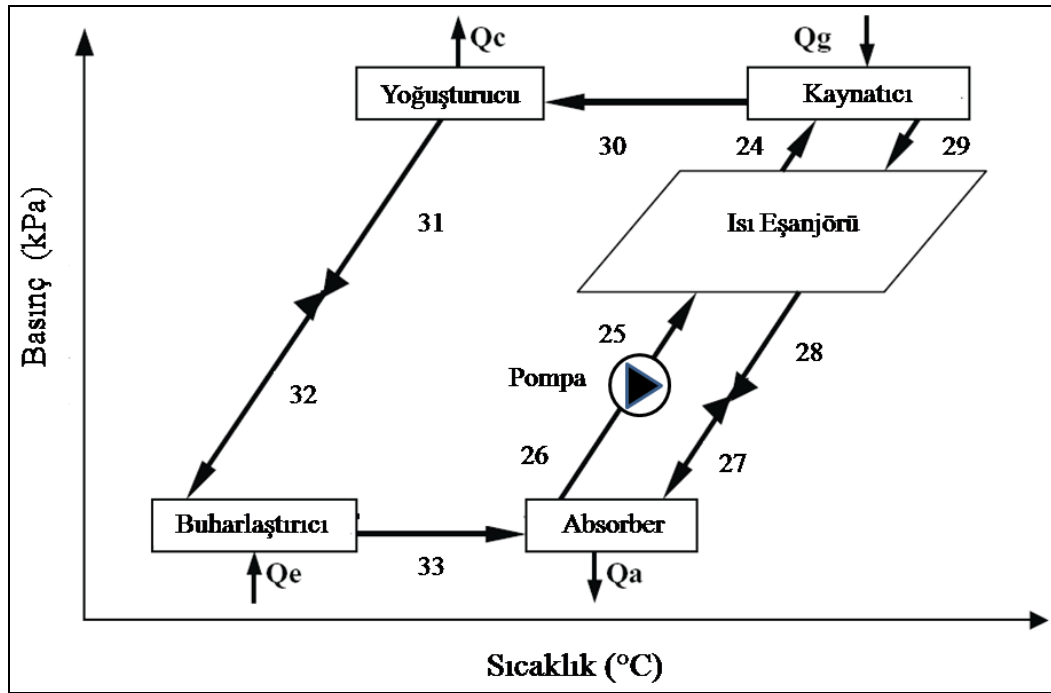
Şekil 6.10 Tuzla jeotermal güç üretim sistemine tek etkili absorpsiyonlu soğutma ünitesinin eklenmesi ile oluşan iş akış şeması

Çizelge 6.3 Elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistem işletme ve termodinamik değerleri

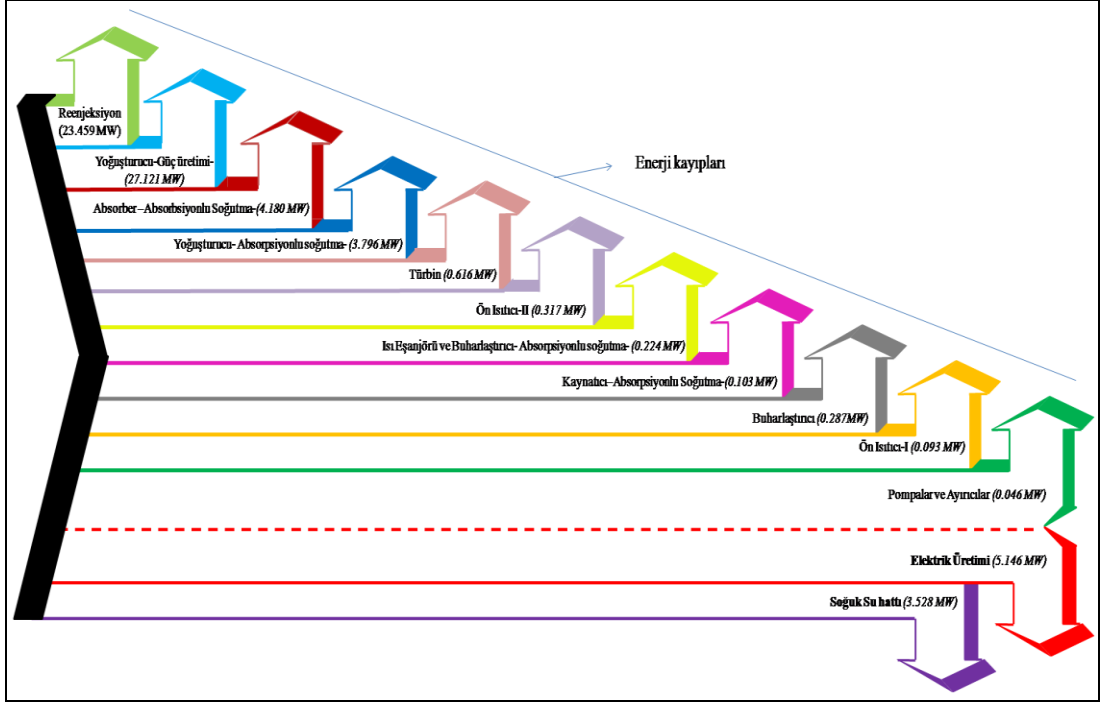
Kesit No	Akışkan	Debi \dot{m} (kg/s)	Sıcaklık T (°C)	Basınç P (kPa)	Entalpi h (kJ/kg)	Entropi s (kJ/kg°C)	Enerji \dot{E} (MW)	Ekserji \dot{E}_x (MW)
0	Izopen.	-	25.4	101	-349.1	-1.687	-	-
0	Su	-	25.4	101	106.6	0.373	-	-
0	LiBr-Su (%55)	-	25.4	101	-190.0	0.1479	-	-
0	LiBr-Su (%59)	-	25.4	101	-185.0	0.1371	-	-
1	JS	79.11	156.8	570	692.0	1.959	46.311	8.871
2	JS+B	79.11	142.8	391	691.8	1.986	46.295	8.218
3	JS	75.75	142.8	391	601.2	1.769	37.466	5.911
4	JS	75.75	142.9	772	601.9	1.769	37.518	5.964
5	B	3.36	142.8	391	2737	6.903	8.838	2.291
6	JS	23.42	164.2	687	794.0	2.214	16.099	3.233
7	JS+B	23.42	142.8	391	793.8	2.231	16.094	3.110
8	JS	21.31	142.8	391	601.2	1.769	10.540	1.663
9	JS	21.31	142.9	728	601.8	1.769	10.552	1.676
10	B	2.11	142.8	391	2737	6.903	5.550	1.439
11	B	5.47	141.5	377	2735.4	6.915	14.380	3.701
12	JS	97.06	142.6	550	600.4	1.766	47.928	7.583
13	JS	102.53	116.5	320	489.1	1.490	39.218	5.043
14	JS	102.53	90.6	240	379.7	1.200	28.001	2.699
15	JS	102.53	90.7	540	380.3	1.201	28.062	2.730
16	Izopen.	77.80	103.5	967	-153.2	-1.111	15.241	1.869
17	Izopen.	77.80	49.0	967	-293.3	-1.512	4.341	0.279
18	Izopen.	77.80	32.8	967	-331.6	-1.633	1.362	0.108
19	Izopen.	77.80	32.7	120	-332.4	-1.632	1.299	0.022
20	Izopen.	77.80	38.4	122	16.2	-0.495	28.420	0.747
21	Izopen.	77.80	60.2	126	55.7	-0.376	31.493	1.058
22	Izopen.	77.80	121.4	967	139.9	-0.353	38.044	7.075
23	JS	102.53	80.0	500	335.4	1.075	23.459	1.981
24	LiBr-Su	22.45	55.0	5.627	-130	0.337	1.346	0.0802
25	LiBr-Su	22.45	35.1	5.627	-170	0.211	0.449	0.0263
26	LiBr-Su	22.45	35.0	1.002	-171	0.211	0.427	0.0258
27	LiBr-Su	20.92	47.0	1.002	-133	0.268	0.942	0.2707
28	LiBr-Su	20.92	52.0	5.627	-133	0.298	0.942	0.0833
29	LiBr-Su	20.92	75.0	5.627	-90	0.430	1.988	0.1589
30	B	1.53	75.0	5.627	2640	8.591	3.858	0.1236
31	Su	1.53	35.0	5.627	146.6	0.505	0.062	0.0010
32	Su	1.53	7.0	1.002	146.6	0.525	0.062	-0.0082
33	Su	1.53	7.0	1.002	2513	8.973	3.665	-0.2435
34	Su	140	8.0	380	34.0	0.121	-10.164	0.3636
35	Su	140	14.0	430	59.2	0.210	-6.636	0.1735

Çizelge 6.4 Elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri

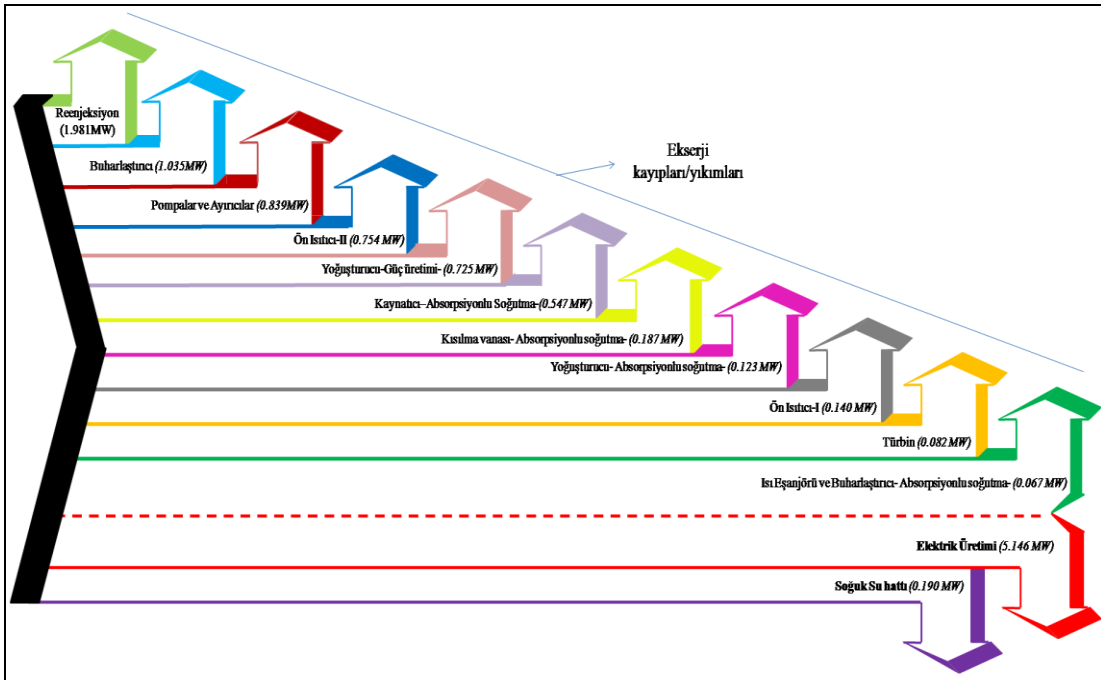
	Sistem Bileşenleri	Isıl kayıplar (MW)	Ekserji Yıkım ve Kayıpları (MW)	Enerji verimi (%)	Ekserji verimi (%)	<i>IP</i> (kW)
EÜ	Buharlaştırıcı	0.287	1.035	98.75	83.41	172
	Ön Isıtıcı-I	0.093	0.140	96.96	54.97	63
	Ön Isıtıcı-II	0.317	0.754	97.17	67.84	242
	Türbin	0.616	0.082	90.60	98.60	2
	Pompalar	0.030	0.038	86.16	82.81	7
	Avırcılar	0.016	0.801	99.97	90.24	78
	Yoğusturucu	27.121	0.725	-	-	-
TEAS	Buharlaştırıcı	0.075	0.0452	97.92	80.79	8
	Kaynaticı	0.103	0.5467	97.76	27.01	399
	Isı Eşanjörü	0.149	0.0217	85.76	71.29	6
	Yoğusturucu	3.796	0.1226	-	-	-
	Kısılma vanaları	-	0.1874	-	-	-
	Absorber	4.180	-	-	-	-
	Reeneksiyon	23.459	1.981	-	-	-



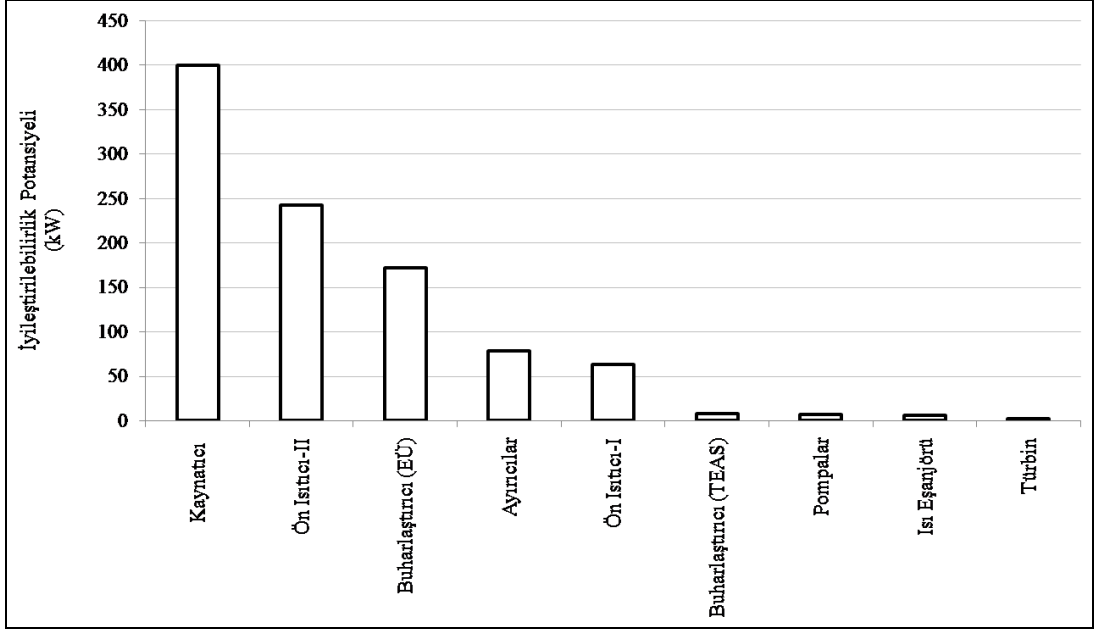
Şekil 6.11 Tek etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi için Basınç-Sıcaklık değişim gösterimi



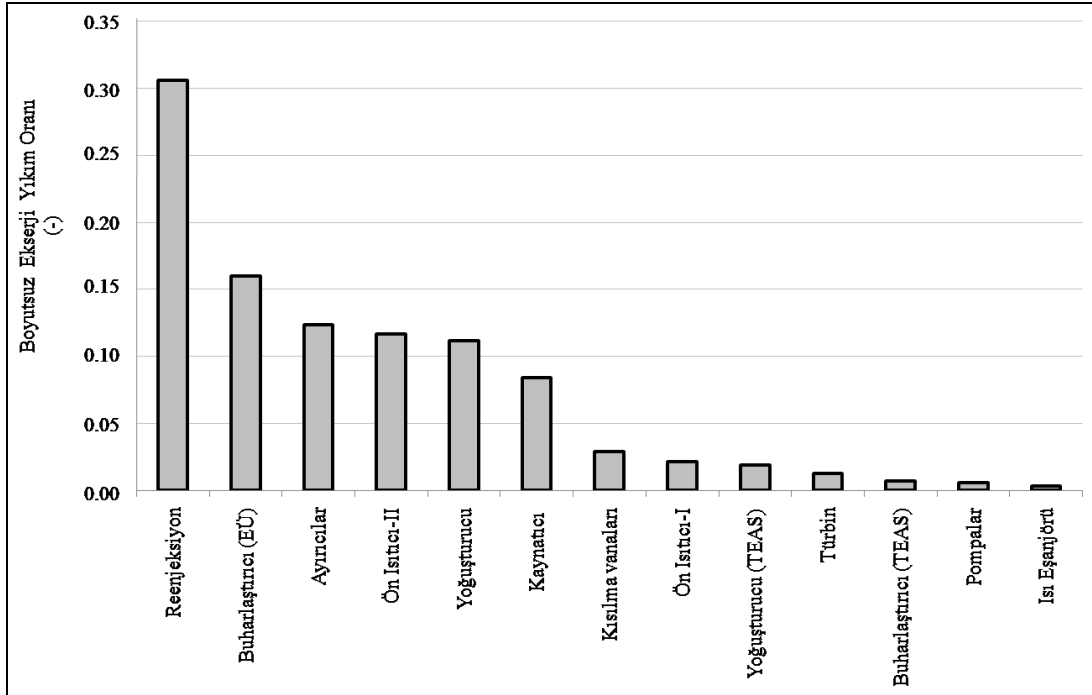
Şekil 6.12 Elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik sistemi için Sankey diyagramı



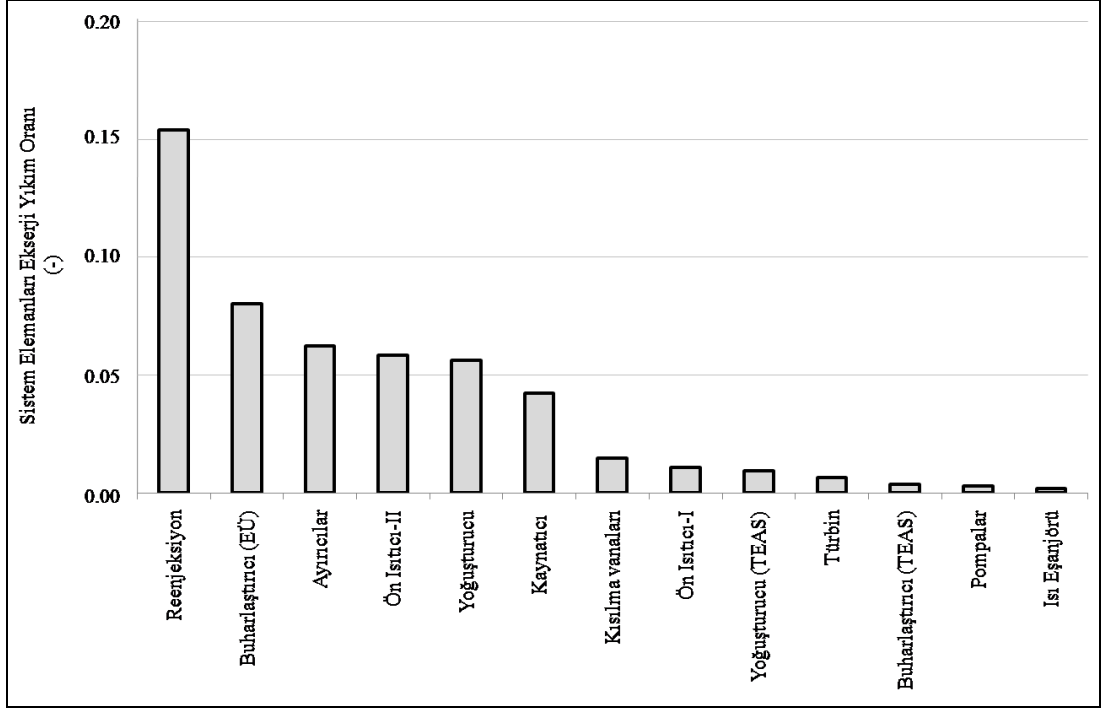
Şekil 6.13 Elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik sistemi için Grosman diyagramı



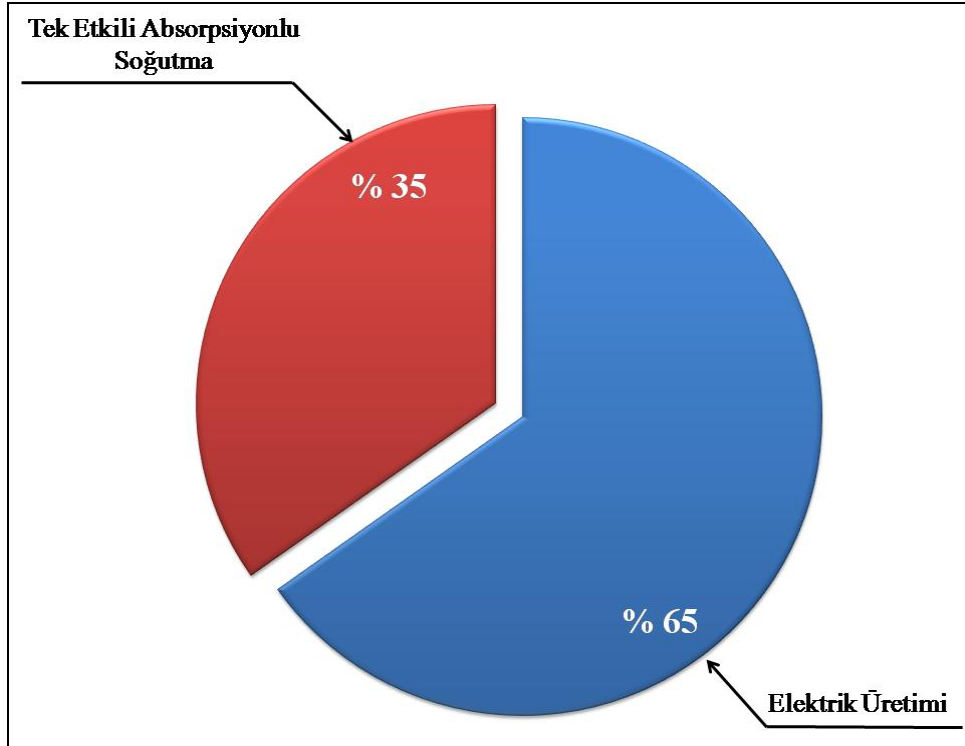
Şekil 6.14 Elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistem elemanları için iyileştirilebilirlik potansiyeli



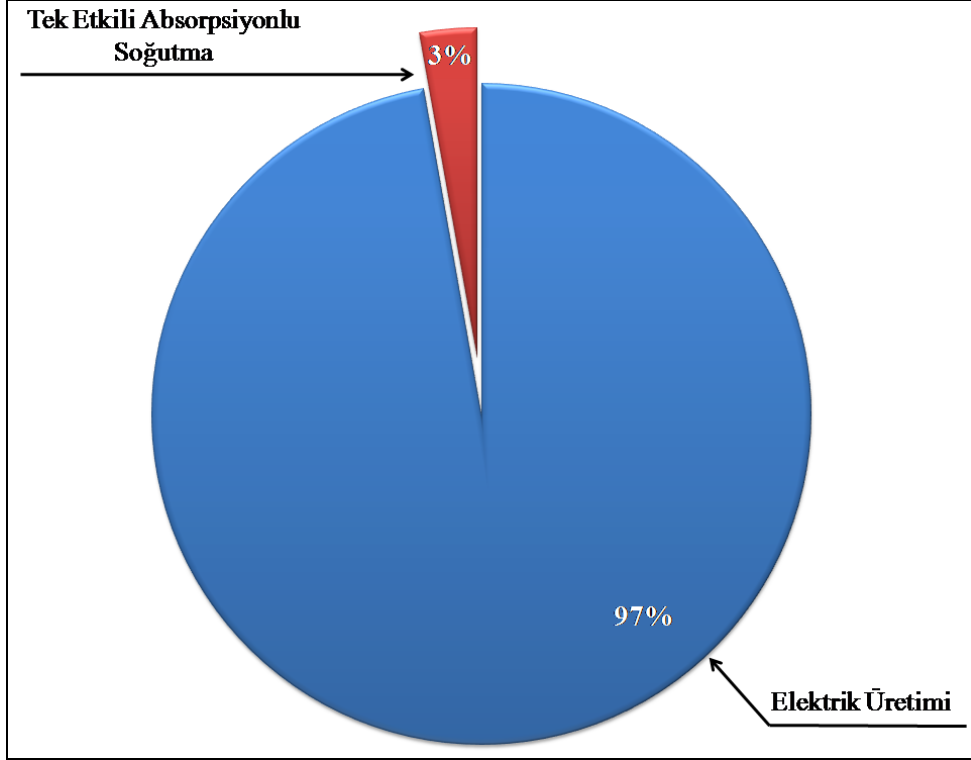
Şekil 6.15 Boyutsuz ekserji yıkım oranının elektrik üretimi ve tek etkili soğutma birleşik enerji sistem elemanlarına bağlı dağılımı



Şekil 6.16 Elektrik üretimi ve tek etkili soğutma birleşik sistem elemanlarındaki ekserji yıkım oranlarının dağılımı



Şekil 6.17 Elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistemi için kullanılan enerjinin dağılımı



Şekil 6.18 Kullanılan ekserjinin elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistemi içindeki dağılımı

6.3 Elektrik Üretimi (EÜ), Tek Etkili Absorpsiyonlu Soğutma (TEAS) ve Sıcak Su Sağlama (SSS) Birleşik Enerji Sistemi Analizi

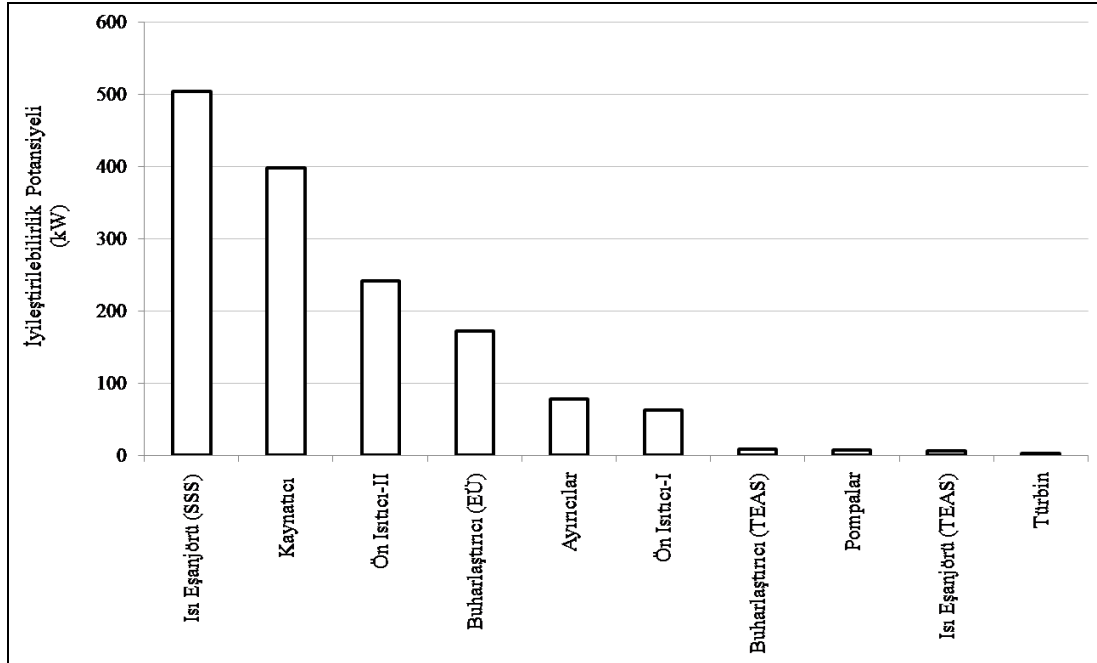
Elektrik üretim sistemine tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama sisteminin eklenmesiyle oluşan birleşik sistemin şematik gösterimi, Şekil 6.19’da verilmiştir. Birleşik sisteminin termodinamik özellikleri ve performans değerleri Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6’da verilmiştir. Analizler ve hesaplamalar sonrasında sistem elemanları için en yüksek iyileştirilebilirlik potansiyelinin absorpsiyonlu soğutma ünitesinde yer alan jeneratör (kaynatıcı) kısmında gerçekleştiği görülmüştür (Şekil 6.20). Boyutsuz ekserji yıkım oranı ve sistem elemanları ekserji yıkım oranı dağılımı grafikleri (Şekil 6.21 ve Şekil 6.22) incelendiğinde en yüksek ekserji kaybının buharlaştırıcı bölümünden kaynaklandığı görülmektedir. Kullanılan enerjinin ve ekserjinin enerji sistemlerine bağlı yüzdesel dağılımı Şekil 6.23 ve Şekil 6.24’de verilmektedir. Grafiklerden de kolayca belirlenebileceği üzere elektrik üretimi toplam kullanılan enerji içinde % 27’lik küçük bir paya sahipken ekserji kullanımında % 78’lük bir paya sahiptir.

Çizelge 6.5 Elektrik üretimi, tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su birleşik enerji sistem işletme ve termodinamik değerleri

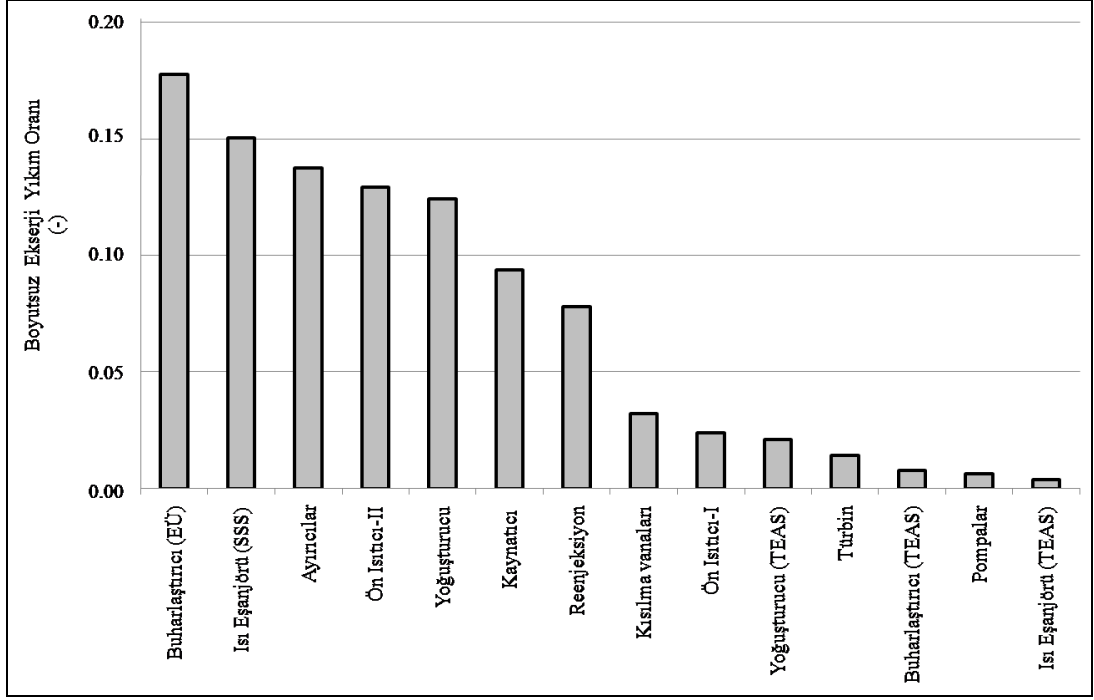
Kesit No	Akışkan	Debi \dot{m} (kg/s)	Sıcaklık T (°C)	Basınç P (kPa)	Entalpi h (kJ/kg)	Entropi s (kJ/kg°C)	Enerji \dot{E} (MW)	Ekserji \dot{E}_x (MW)
0	Izopen.	-	25.4	101	-349.1	-1.687	-	-
0	Su	-	25.4	101	106.6	0.373	-	-
0	LiBr-Su (% 55)	-	25.4	101	-190.0	0.1479	-	-
0	LiBr-Su (% 59)	-	25.4	101	-185.0	0.1371	-	-
1	JS	79.11	156.8	570	692.0	1.959	46.311	8.871
2	JS+B	79.11	142.8	391	691.8	1.986	46.295	8.218
3	JS	75.75	142.8	391	601.2	1.769	37.466	5.911
4	JS	75.75	142.9	772	601.9	1.769	37.518	5.964
5	B	3.36	142.8	391	2737	6.903	8.838	2.291
6	JS	23.42	164.2	687	794.0	2.214	16.099	3.233
7	JS+B	23.42	142.8	391	793.8	2.231	16.094	3.110
8	JS	21.31	142.8	391	601.2	1.769	10.540	1.663
9	JS	21.31	142.9	728	601.8	1.769	10.552	1.676
10	B	2.11	142.8	391	2737	6.903	5.550	1.439
11	B	5.47	141.5	377	2735.4	6.915	14.380	3.701
12	JS	97.06	142.6	550	600.4	1.766	47.928	7.583
13	JS	102.53	116.5	320	489.1	1.490	39.218	5.043
14	JS	102.53	90.6	240	379.7	1.200	28.001	2.699
15	JS	102.53	90.7	540	380.3	1.201	28.062	2.730
16	Izopen.	77.80	103.5	967	-153.2	-1.111	15.241	1.869
17	Izopen.	77.80	49.0	967	-293.3	-1.512	4.341	0.279
18	Izopen.	77.80	32.8	967	-331.6	-1.633	1.362	0.108
19	Izopen.	77.80	32.7	120	-332.4	-1.632	1.299	0.022
20	Izopen.	77.80	38.4	122	16.2	-0.495	28.420	0.747
21	Izopen.	77.80	60.2	126	55.7	-0.376	31.493	1.058
22	Izopen.	77.80	121.4	967	139.9	-0.353	38.044	7.075
23	JS	102.53	80.0	500	335.4	1.075	23.459	1.981
24	LiBr-Su	22.45	55.0	5.627	-130	0.337	1.346	0.0802
25	LiBr-Su	22.45	35.1	5.627	-170	0.211	0.449	0.0263
26	LiBr-Su	22.45	35.0	1.002	-171	0.211	0.427	0.0258
27	LiBr-Su	20.92	47.0	1.002	-133	0.268	0.942	0.2707
28	LiBr-Su	20.92	52.0	5.627	-133	0.298	0.942	0.0833
29	LiBr-Su	20.92	75.0	5.627	-90	0.430	1.988	0.1589
30	B	1.53	75.0	5.627	2640	8.591	3.858	0.1236
31	Su	1.53	35.0	5.627	146.6	0.505	0.062	0.0010
32	Su	1.53	7.0	1.002	146.6	0.525	0.062	-0.0082
33	Su	1.53	7.0	1.002	2513	8.973	3.665	-0.2435
34	Su	140	8.0	380	34.0	0.121	-10.164	0.3636
35	Su	140	14.0	430	59.2	0.210	-6.636	0.1735
36	JS	102.53	50.0	400	209.8	0.704	10.581	0.4542
37	Su	117.50	30.0	200	125.9	0.437	2.268	0.0238
38	Su	117.50	30.1	500	126.6	0.438	2.350	0.0710
39	Su	117.50	55.0	470	230.6	0.768	14.570	0.7205

Çizelge 6.6 Elektrik üretimi, tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su birleşik enerji sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri

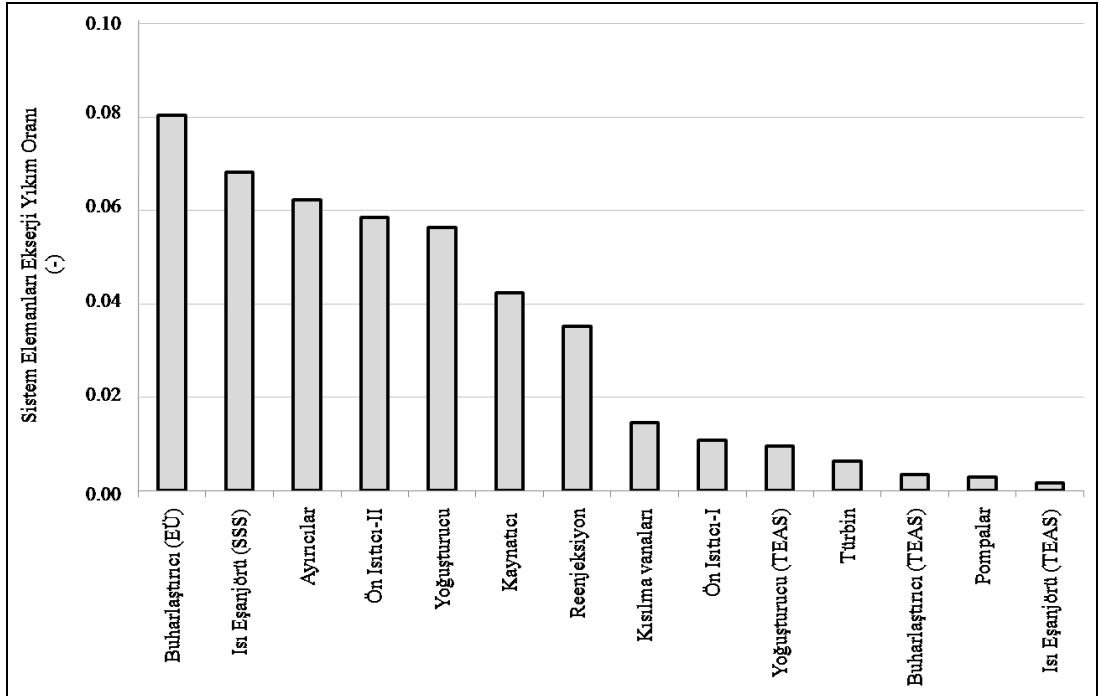
	Sistem Bileşenleri	Isıl kayıplar (MW)	Ekserji Yıkım ve Kayıpları (MW)	Enerji verimi (%)	Ekserji verimi (%)	<i>IP</i> (kW)
EÜ	Buharlaştırıcı	0.287	1.035	98.75	83.41	172
	Ön Isıtıcı-I	0.093	0.140	96.96	54.97	63
	Ön Isıtıcı-II	0.317	0.754	97.17	67.84	242
	Türbin	0.616	0.082	90.60	98.60	2
	Pompalar	0.030	0.038	86.16	82.81	7
	Ayırıcılar	0.016	0.801	99.97	90.24	78
	Yoğusturucu	27.121	0.725	-	-	-
TEAS	Buharlaştırıcı	0.075	0.0452	97.92	80.79	8
	Kaynatici	0.103	0.5467	97.76	27.01	399
	Isı Eşanjörü	0.149	0.0217	85.76	71.29	6
	Yoğusturucu	3.796	0.1226	-	-	-
	Kısılma vanaları	-	0.1874	-	-	-
	Absorber	4.180	-	-	-	-
SSS	Isı Eşanjörü	0.658	0.8773	94.90	42.54	504
	Reenjeksiyon	10.581	0.4542	-	-	-



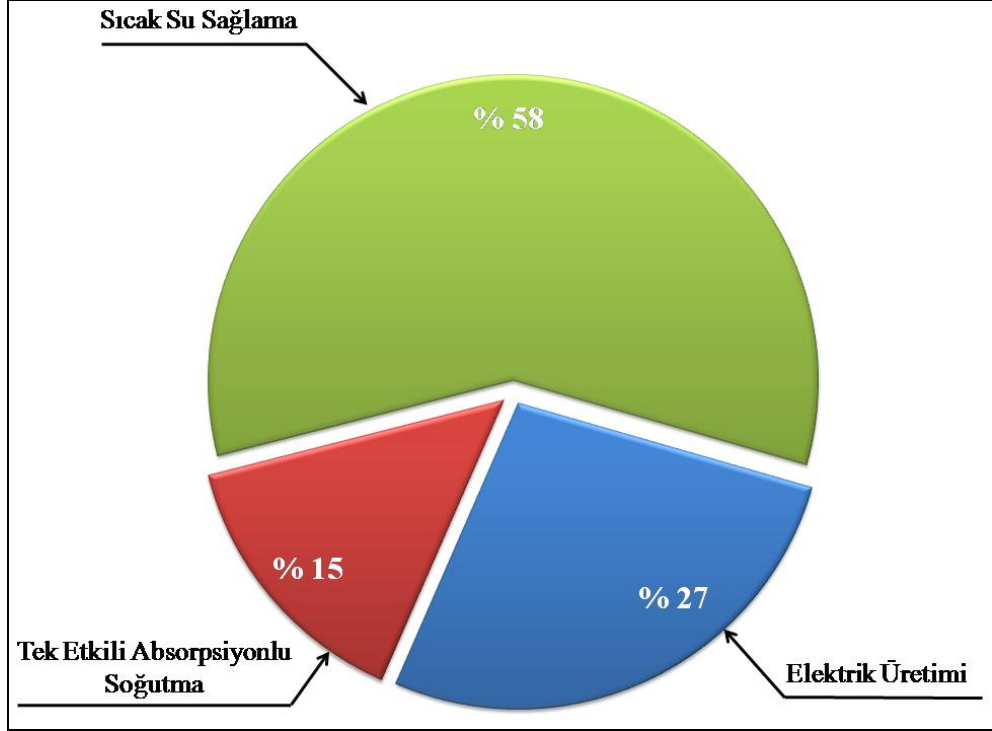
Şekil 6.20 Elektrik üretimi, tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistem elemanlarının iyileştirilebilirlik potansiyeli



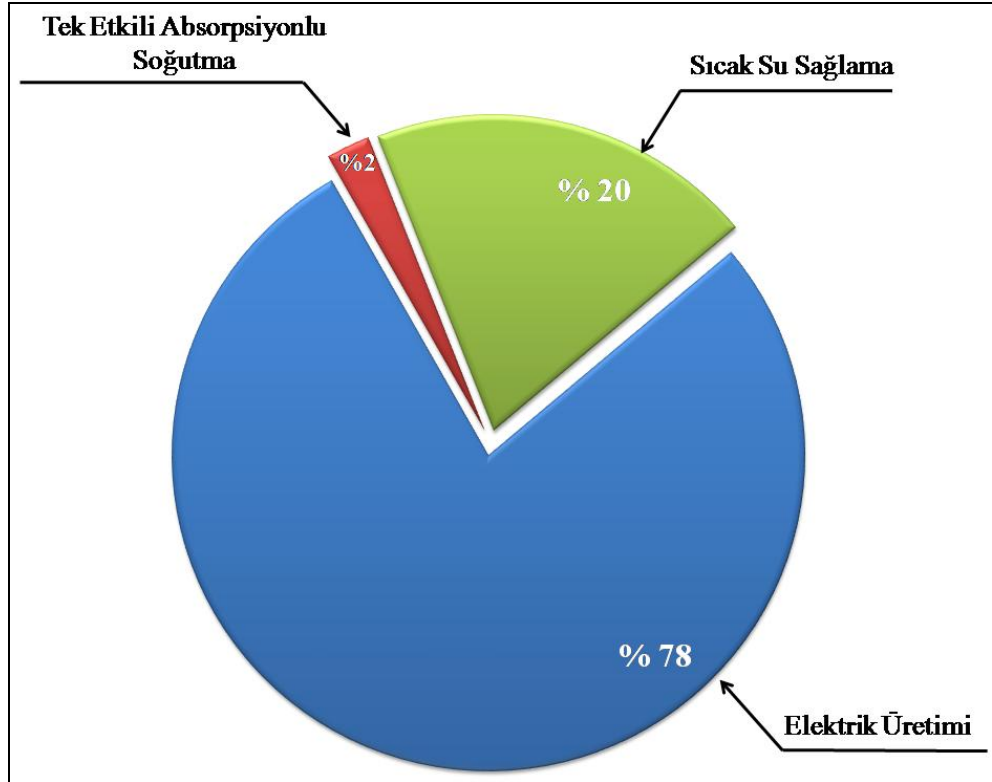
Şekil 6.21 Boyutsuz ekserji yıkım oranının elektrik üretimi, tek etkili soğutma ve sıcak su üretim birleşik sistemi elemanlarına bağlı dağılımı



Şekil 6.22 Elektrik üretimi, tek etkili soğutma ve sıcak su üretim birleşik sistem elemanları ekserji yıkım oranlarının dağılımı



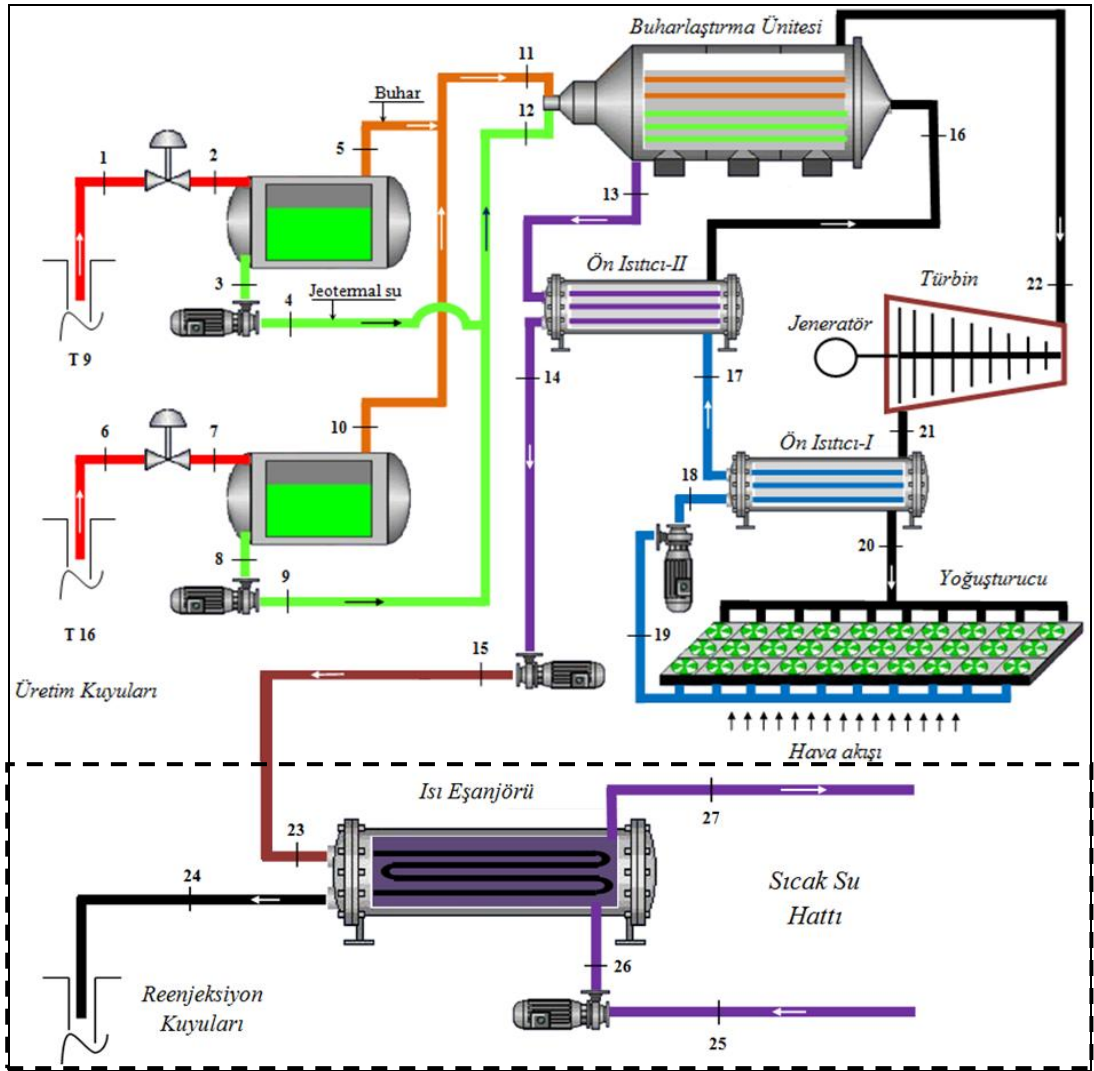
Şekil 6.23 Elektrik üretimi, tek etkili soğutma ve sıcak su sağlama birleşik sistemi için enerji dağılımı



Şekil 6.24 Kullanılan ekserjinin elektrik üretimi ve çift etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistemi içindeki dağılımı

6.4 Elektrik Üretimi (EÜ) ve Sıcak Su Sağlama (SSS) Birleşik Enerji Sistemi Analizi

Elektrik üretim sistemine sıcak su sağlama sisteminin eklenmesiyle oluşan birleşik sistemin şematik gösterimi, termodinamik özellikleri ve performans değerleri sırasıyla Şekil 6.25, Çizelge 6.7 ve Çizelge 6.8’de verilmiştir. Analizler ve hesaplamalar sonrasında Şekil 6.26’da görüldüğü biçimde sistem elemanları için en yüksek iyileştirilebilirlik potansiyeli ısı eşanjöründe bulunmaktadır.



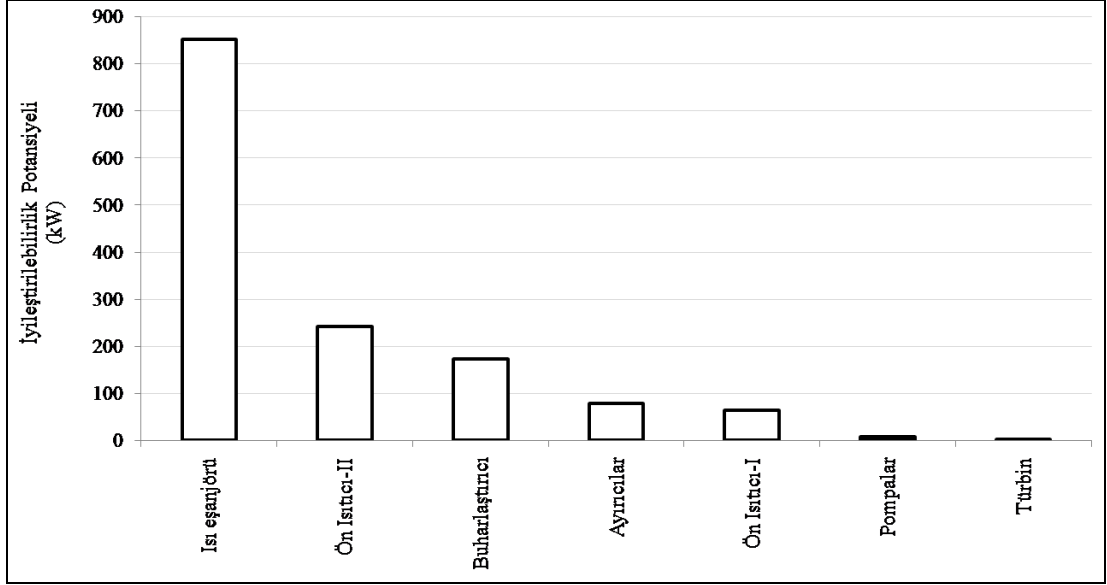
Şekil 6.25 Tuzlu jeotermal güç üretim sistemine sıcak su ısıtma ünitesinin eklenmesi ile oluşan şematik gösterim

Çizelge 6.7 Elektrik üretimi ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için örnek bir gün işletme ve termodinamik değerleri

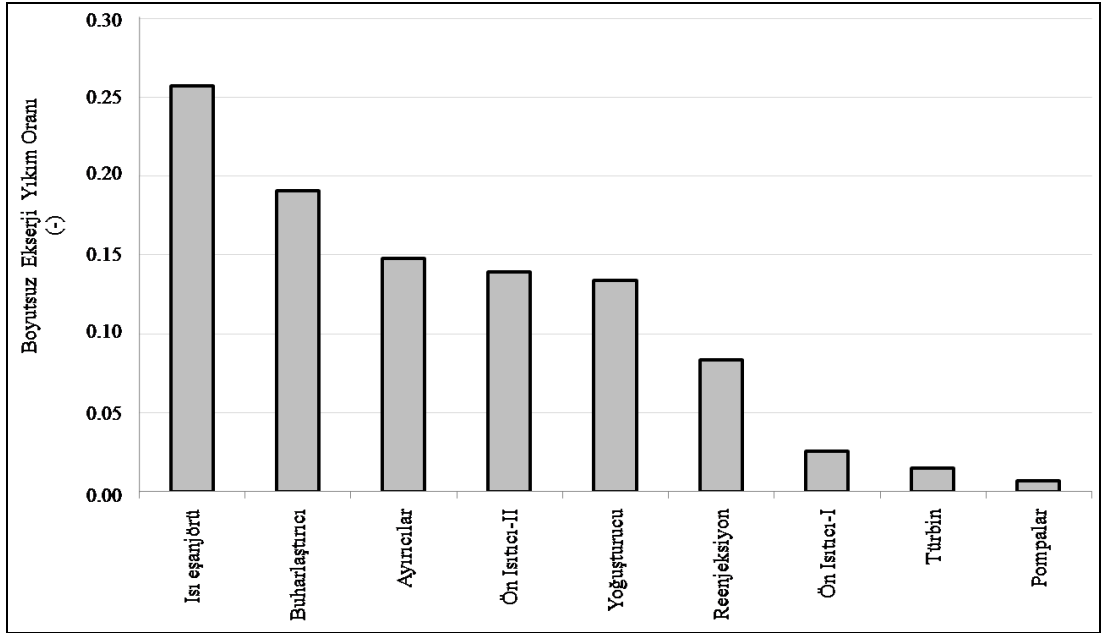
Kesit No	Akışkan	Debi \dot{m} (kg/s)	Sıcaklık T (°C)	Basınç P (kPa)	Entalpi h (kJ/kg)	Entropi s (kJ/kg°C)	Enerji \dot{E} (MW)	Ekserji \dot{E}_x (MW)
0	Izopen.	-	25.4	101	-349.1	-1.687	-	-
0	Su	-	25.4	101	106.6	0.373	-	-
1	JS	79.11	156.8	570	692.0	1.959	46.311	8.871
2	JS+B	79.11	142.8	391	691.8	1.986	46.295	8.218
3	JS	75.75	142.8	391	601.2	1.769	37.466	5.911
4	JS	75.75	142.9	772	601.9	1.769	37.518	5.964
5	B	3.36	142.8	391	2737	6.903	8.838	2.291
6	JS	23.42	164.2	687	794.0	2.214	16.099	3.233
7	JS+B	23.42	142.8	391	793.8	2.231	16.094	3.110
8	JS	21.31	142.8	391	601.2	1.769	10.540	1.663
9	JS	21.31	142.9	728	601.8	1.769	10.552	1.676
10	B	2.11	142.8	391	2737	6.903	5.550	1.439
11	B	5.47	141.5	377	2735.4	6.915	14.380	3.701
12	JS	97.06	142.6	550	600.4	1.766	47.928	7.583
13	JS	102.53	116.5	320	489.1	1.490	39.218	5.043
14	JS	102.53	90.6	240	379.7	1.200	28.001	2.699
15	JS	102.53	90.7	540	380.3	1.201	28.062	2.730
16	Izopen.	77.80	103.5	967	-153.2	-1.111	15.241	1.869
17	Izopen.	77.80	49.0	967	-293.3	-1.512	4.341	0.279
18	Izopen.	77.80	32.8	967	-331.6	-1.633	1.362	0.108
19	Izopen.	77.80	32.7	120	-332.4	-1.632	1.299	0.022
20	Izopen.	77.80	38.4	122	16.2	-0.495	28.420	0.747
21	Izopen.	77.80	60.2	126	55.7	-0.376	31.493	1.058
22	Izopen.	77.80	121.4	967	139.9	-0.353	38.044	7.075
23	JS	102.53	90.7	540	380.3	1.201	28.062	2.730
24	JS	102.53	50.0	500	209.8	0.704	10.581	0.454
25	Su	159.70	30.0	200	125.9	0.437	3.082	0.032
26	Su	159.70	30.1	500	126.6	0.438	3.194	0.097
27	Su	159.70	55.0	470	230.6	0.768	19.803	0.979

Çizelge 6.8 Elektrik üretimi ve sıcak su birleşik enerji sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri

Sistem Bileşenleri	Isıl kayıplar (MW)	Ekserji Yıkım ve Kayıpları (MW)	Enerji verimi (%)	Ekserji verimi (%)	IP (MW)
Buharlaştırıcı	0.287	1.035	98.75	83.41	172
Ön Isıtıcı-I	0.093	0.140	96.96	54.97	63
Ön Isıtıcı-II	0.317	0.754	97.17	67.84	242
Türbin	0.616	0.082	90.60	98.60	2
Yoğuşturucu	27.121	0.725	-	-	-
Pompalar	0.030	0.038	86.16	82.81	7
Ayırıcılar	0.016	0.801	99.97	90.24	78
Reenjeksiyon	10.581	0.454	-	-	-
Isı eşanjörü	0.872	1.3934	95.00	38.77	853



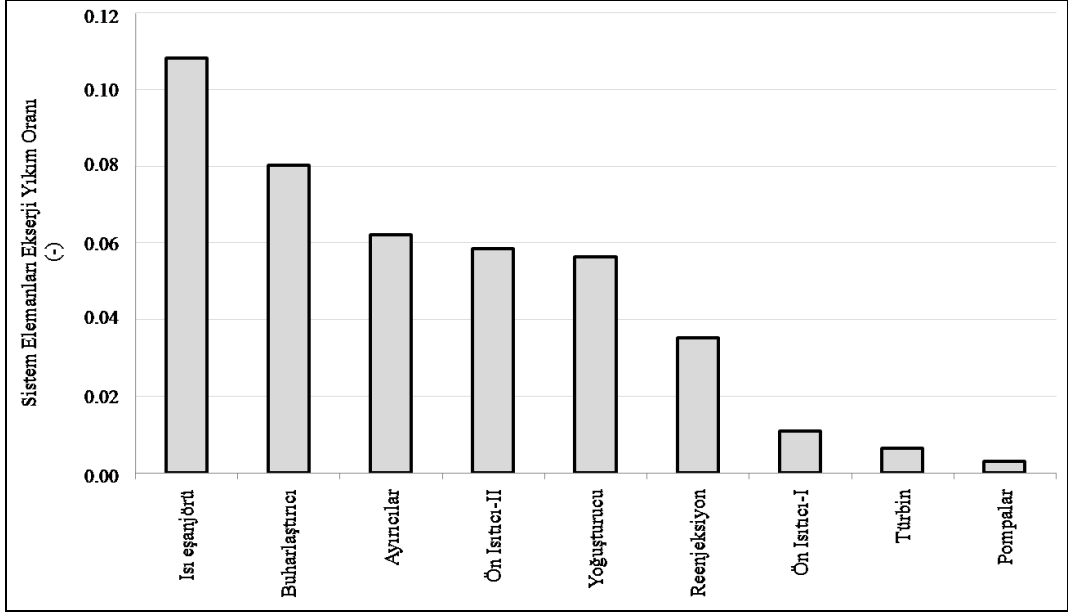
Şekil 6.26 Elektrik üretimi, tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistem elemanlarının iyileştirilebilirlik potansiyeli



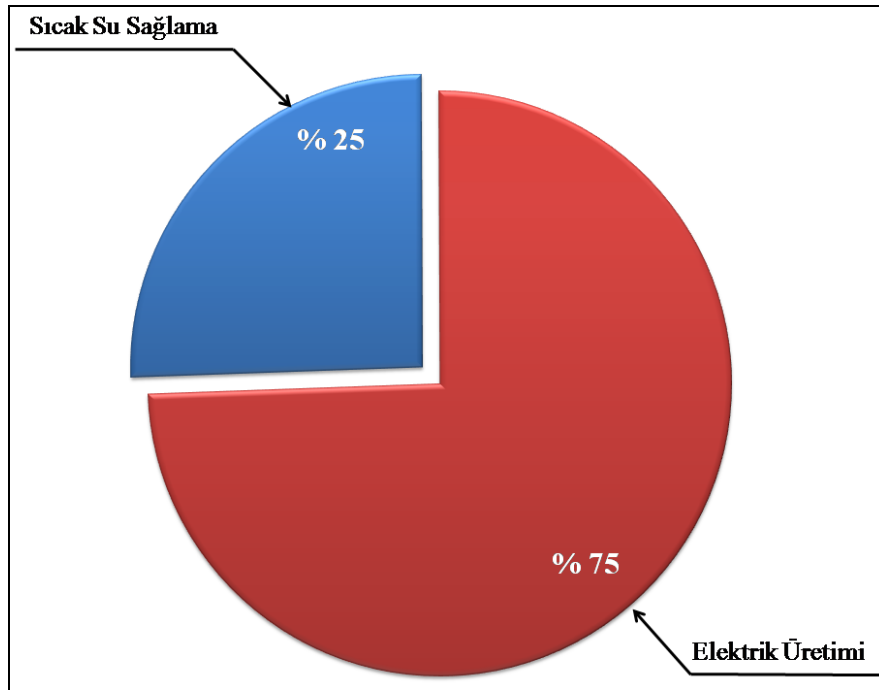
Şekil 6.27 Boyutsuz ekserji yıkım oranının elektrik üretimi, tek etkili soğutma ve sıcak su üretim birleşik sistemi elemanlarına bağlı dağılımı

Boyutsuz ekserji yıkım oranı ve sistem elemanları ekserji yıkım oranı dağılımı grafikleri (Şekil 6.27 ve Şekil 6.28) incelendiğinde en yüksek ekserji kaybının ısı eşanjörü ünitesinde olduğu görülmektedir. Kullanılan enerjinin ve ekserjinin elektrik üretimi ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi içindeki

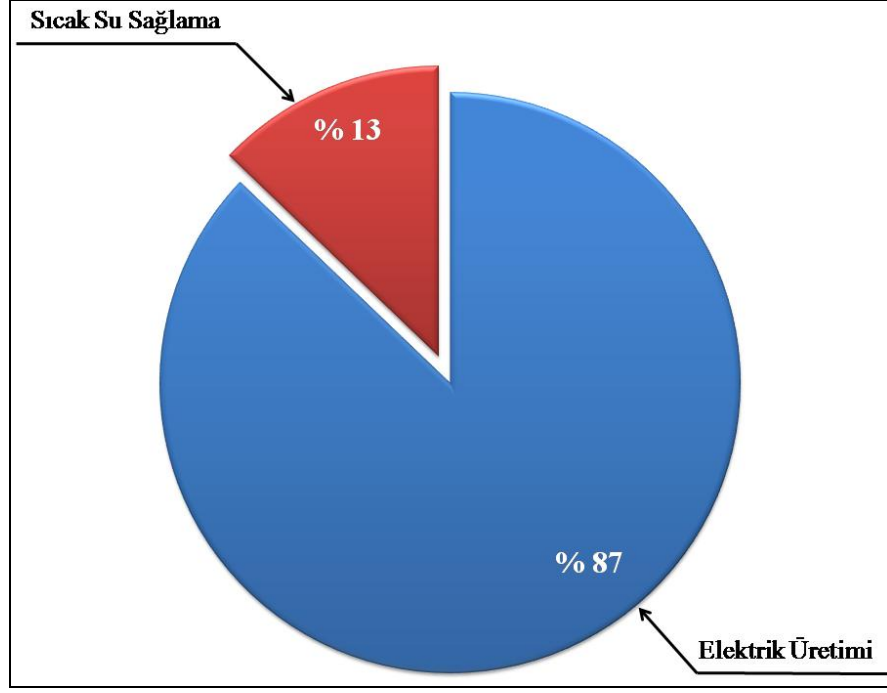
dağılımı Şekil 6.29 ve 6.30'da grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu grafiklerden enerjinin ve ekserjinin elektrik üretimi ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi içindeki dağılımı daha kolay bir biçimde karşılaştırılabilir.



Şekil 6.28 Elektrik üretimi, tek etkili soğutma ve sıcak su üretim birleşik sistem elemanlarının ekserji yıkım oranlarının dağılımı



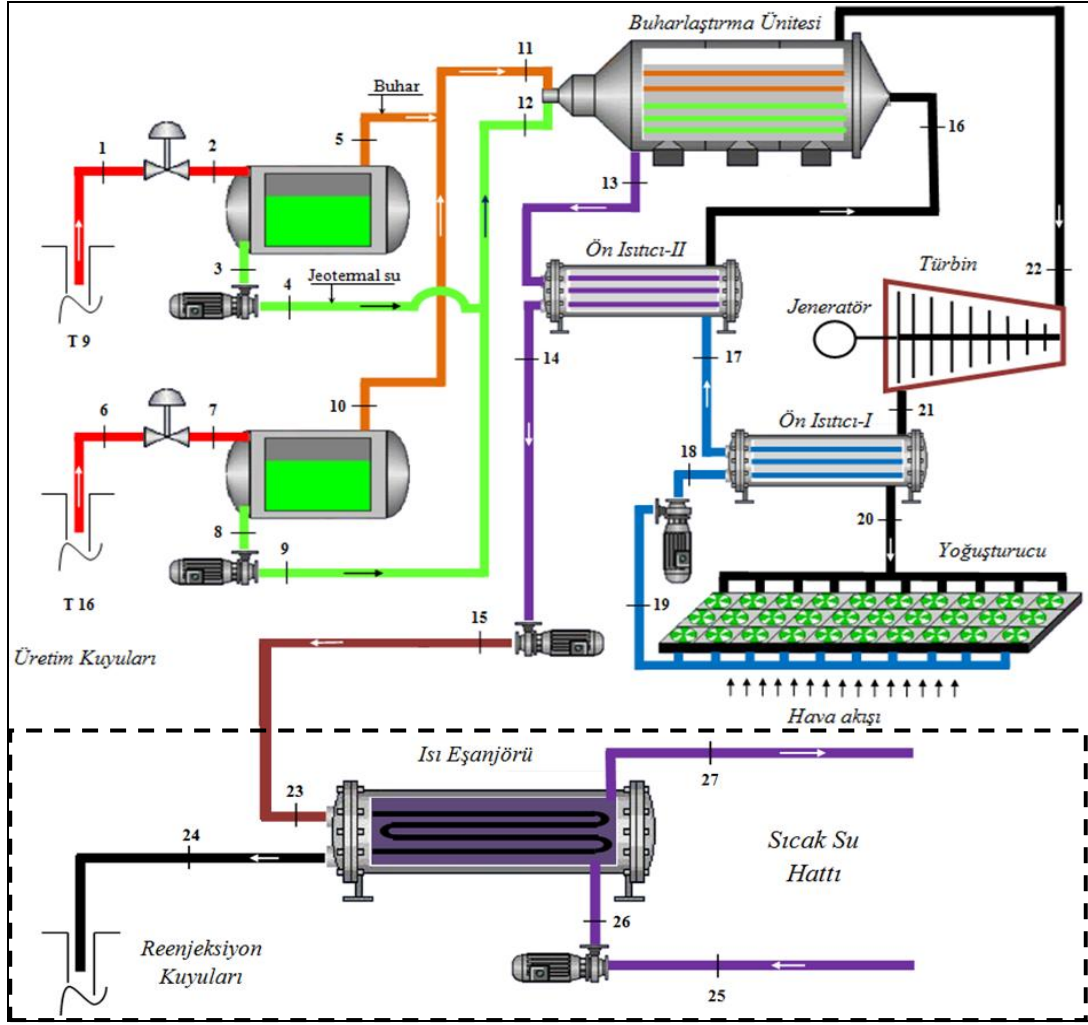
Şekil 6.29 Elektrik üretimi ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemleri için kullanılan enerjinin dağılımı



Şekil 6.30 Elektrik üretimi ve sıcak su sağlama enerji sistemi için ekserji kullanımının dağılımı

6.5 Elektrik Üretimi (EÜ) ve Isıtma-Sıcak Su Sağlama (ISSS) Birleşik Enerji Sistemi Analizi

Elektrik üretim sistemine ısıtma-sıcak su sağlama sisteminin eklenmesiyle oluşan birleşik sisteminin şematik gösterimi, termodinamik özellikleri ve performans değerleri sırasıyla Şekil 6.31, Çizelge 6.9 ve 6.10'da verilmiştir. Elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su sağlama birleşik sistemi için Sankey ve Grosman diyagramı Şekil 6.32 ve 6.33'de verilmiştir. Analizler ve hesaplamalar sonrasında, sistem elemanları içinde en yüksek iyileştirilebilirlik potansiyelinin ısı eşanjörünün sahip olduğu görülmüştür (Şekil 6.34). Boyutsuz ekserji yıkım oranı ve sistem elemanları ekserji yıkım oranı dağılımı grafikleri (Şekil 6.35 ve Şekil 6.36) incelendiğinde en yüksek ekserji kaybının yoğunlaştırucu (kondenser) ünitesinde olduğu görülmektedir. Kullanılan enerjinin ve ekserjinin elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi içindeki dağılımı Şekil 6.37 ve 6.38'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu grafiklerden enerjinin ve ekserjinin elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi içindeki dağılımı daha kolay bir biçimde karşılaştırılabilir. Grafiklerden de kolayca görülebileceği üzere elektrik üretimi enerji kullanımında % 44'lük bir paya sahipken ekserji kullanımında % 85'lik bir paya sahip olmaktadır.



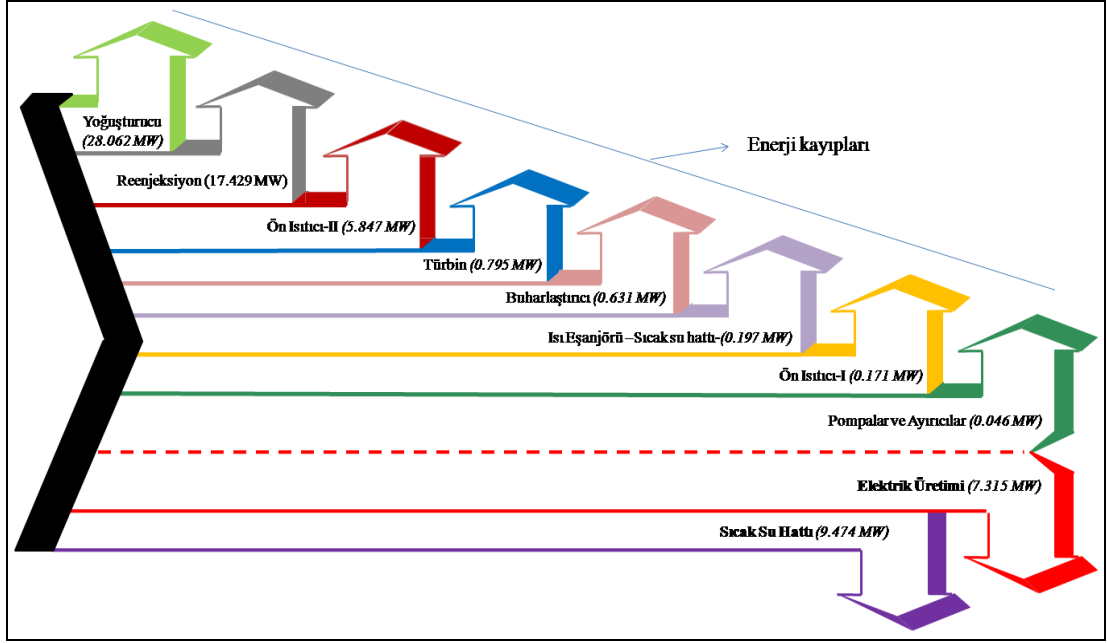
Şekil 6.31 Elektrik üretimi sistemine ısıtma-sıcak su eldesi ünitesinin eklenmesi ile oluşan şematik gösterim

Çizelge 6.9 Elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su birleşik enerji sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri

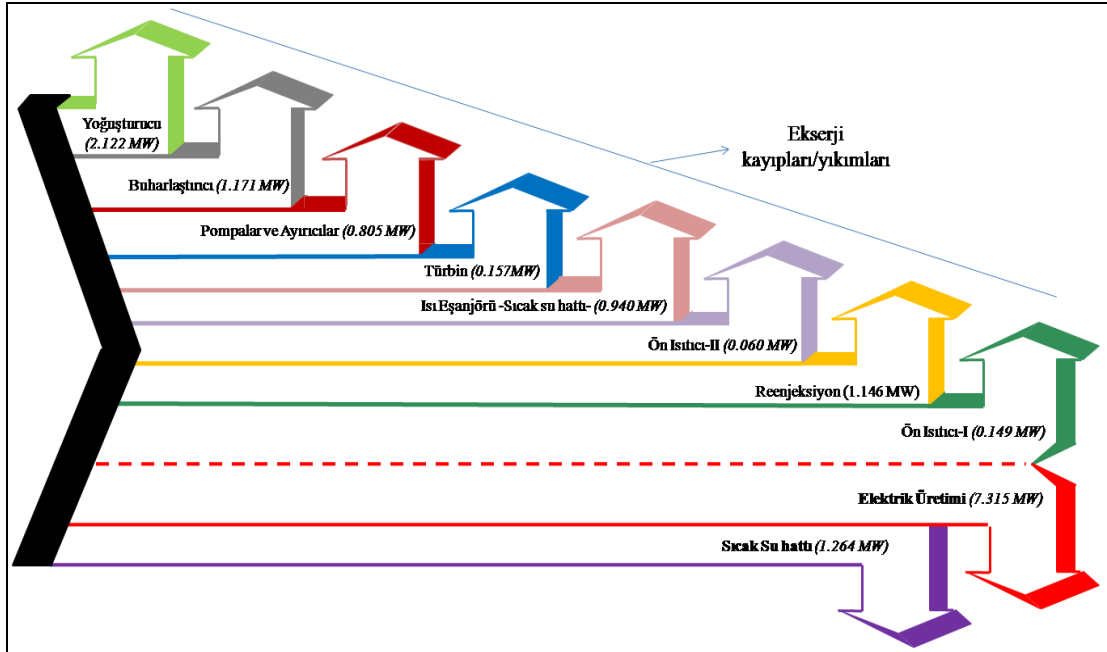
Sistem Bileşenleri	Isıl kayıplar (MW)	Ekserji Yıkım ve Kayıpları (MW)	Enerji verimi (%)	Ekserji verimi (%)	<i>IP</i> (kW)
Buharlaştırıcı	0.631	1.171	97.79	87.41	147
Ön Isıtıcı-I	0.171	0.149	95.58	74.02	39
Ön Isıtıcı-II	5.847	0.060	58.51	96.07	3
Türbin	0.795	0.157	90.00	97.85	4
Pompalar	0.030	0.038	86.16	82.81	7
Ayırıcılar	0.016	0.767	99.97	94.87	39
Isı eşanjörü	0.197	0.940	97.96	57.35	401
Reenjeksiyon	17.429	1.146	-	-	-
Yoğuşturucu	28.062	2.122	-	-	-

Çizelge 6.10 Elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su birleşik enerji sistem işletme ve termodinamik değerleri

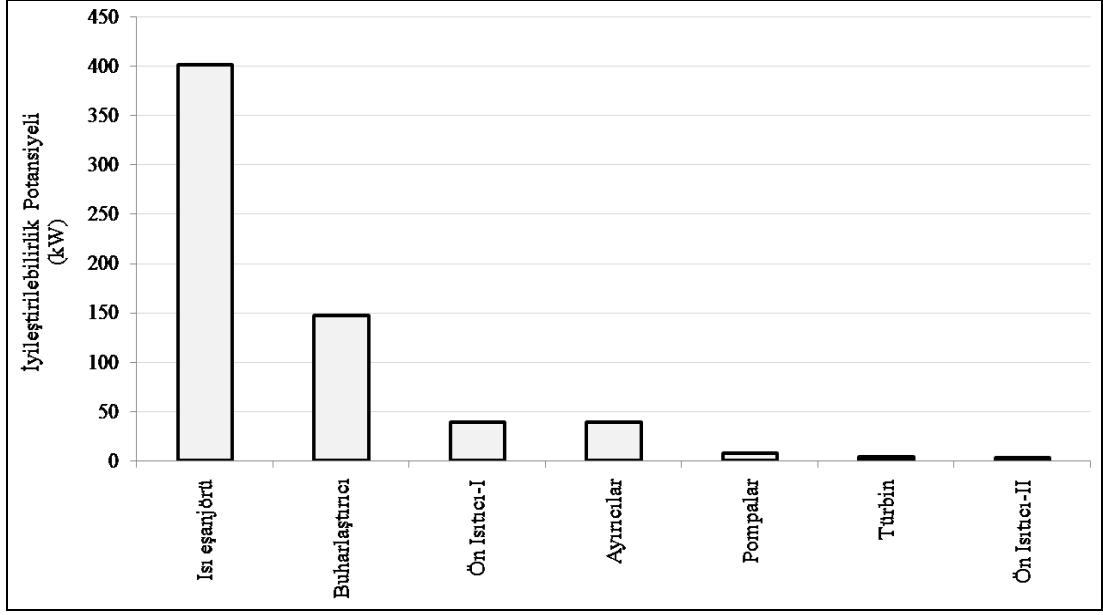
Kesit No	Akışkan	Debi \dot{m} (kg/s)	Sıcaklık T (°C)	Basınç P (kPa)	Entalpi h (kJ/kg)	Entropi s (kJ/kg°C)	Enerji \dot{E} (MW)	Ekserji \dot{E}_x (MW)
0	Izopen.	-	9.8	101	-378.6	-1.780	-	-
0	Su	-	9.8	101	41.1	0.144	-	-
1	JS	79.90	156.8	570	692.0	1.959	52.008	10.996
2	JS+B	79.90	142.8	391	691.8	1.986	51.992	10.370
3	JS	76.51	142.8	391	601.2	1.769	42.852	7.693
4	JS	76.51	142.9	772	601.9	1.769	42.905	7.746
5	B	3.39	142.8	391	2737.0	6.903	9.149	2.662
6	JS	23.65	164.2	687	794.0	2.214	17.809	3.962
7	JS+B	23.65	142.8	391	793.8	2.231	17.805	3.844
8	JS	21.52	142.8	391	601.2	1.769	12.055	2.164
9	JS	21.52	142.9	728	601.8	1.769	12.068	2.177
10	B	2.13	142.8	391	2737.0	6.903	5.745	1.672
11	B	5.52	141.5	377	2735.4	6.915	14.885	4.306
12	JS	98.03	142.6	550	600.4	1.766	54.829	9.862
13	JS	103.56	104.4	320	438.5	1.383	41.153	4.868
14	JS	103.56	72.0	240	302.4	0.954	27.059	3.338
15	JS	103.56	72.1	540	302.8	0.955	27.100	3.350
16	Izopen.	77.80	84.0	967	-201.1	-1.247	13.810	2.083
17	Izopen.	77.80	40.4	967	-307.1	-1.555	5.563	0.612
18	Izopen.	77.80	20.1	967	-354.7	-1.704	1.859	0.187
19	Izopen.	77.80	20.0	120	-354.8	-1.705	1.852	0.202
20	Izopen.	77.80	30.0	122	5.9	-0.526	29.914	2.324
21	Izopen.	77.80	57.5	126	55.7	-0.376	33.789	2.898
22	Izopen.	77.80	135.0	967	157.9	-0.347	41.740	10.211
23	JS	103.56	72.1	540	302.8	0.955	27.100	3.350
24	JS	103.56	50.0	300	209.4	0.700	17.429	1.146
25	Su	91.00	40.0	200	167.7	0.572	15.261	0.506
26	Su	91.00	40.1	500	168.4	0.574	15.324	0.518
27	Su	91.00	65.0	470	272.5	0.893	24.798	1.782



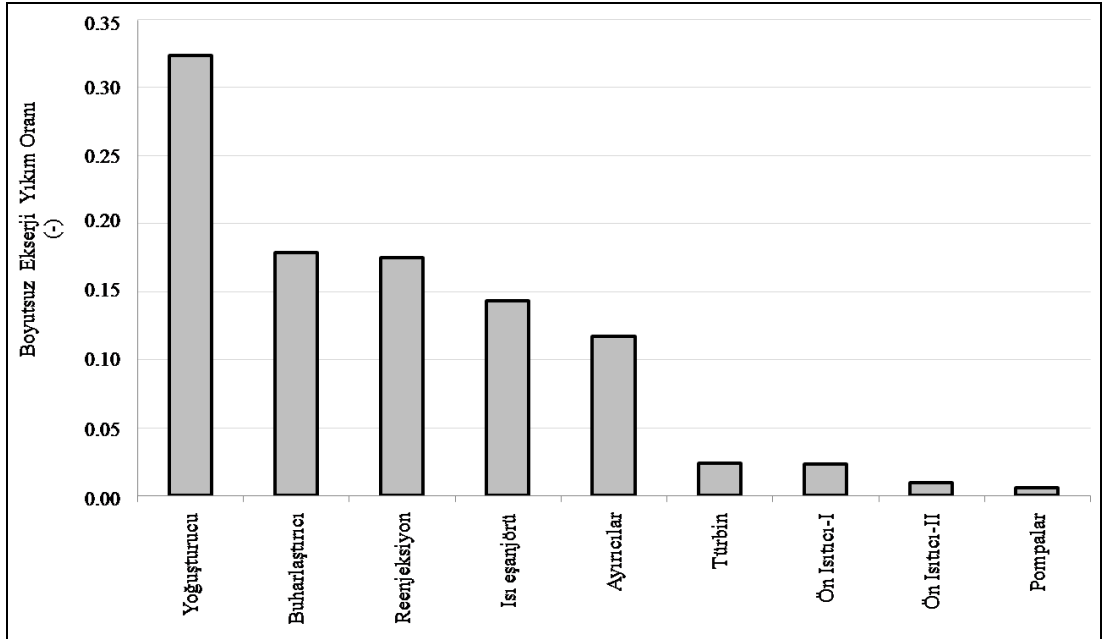
Şekil 6.32 Elektrik üretimi ve Isıtma-Sıcak Su Sağlama birleşik sistemi için Sankey diyagramı



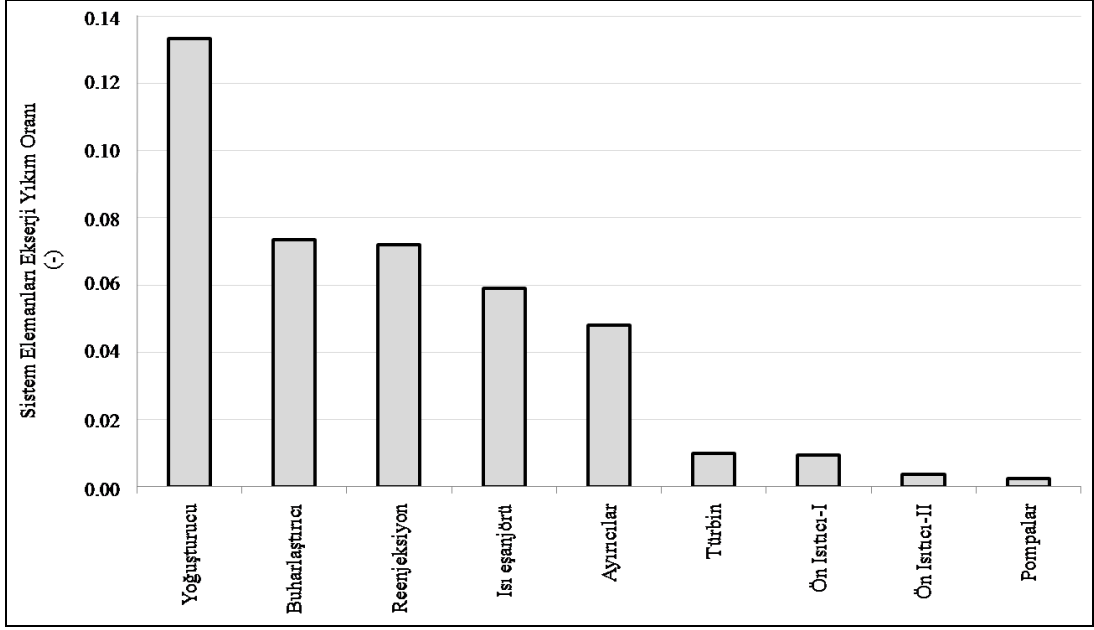
Şekil 6.33 Elektrik üretimi ve Isıtma-Sıcak Su Sağlama birleşik sistemi için Grosman diyagramı



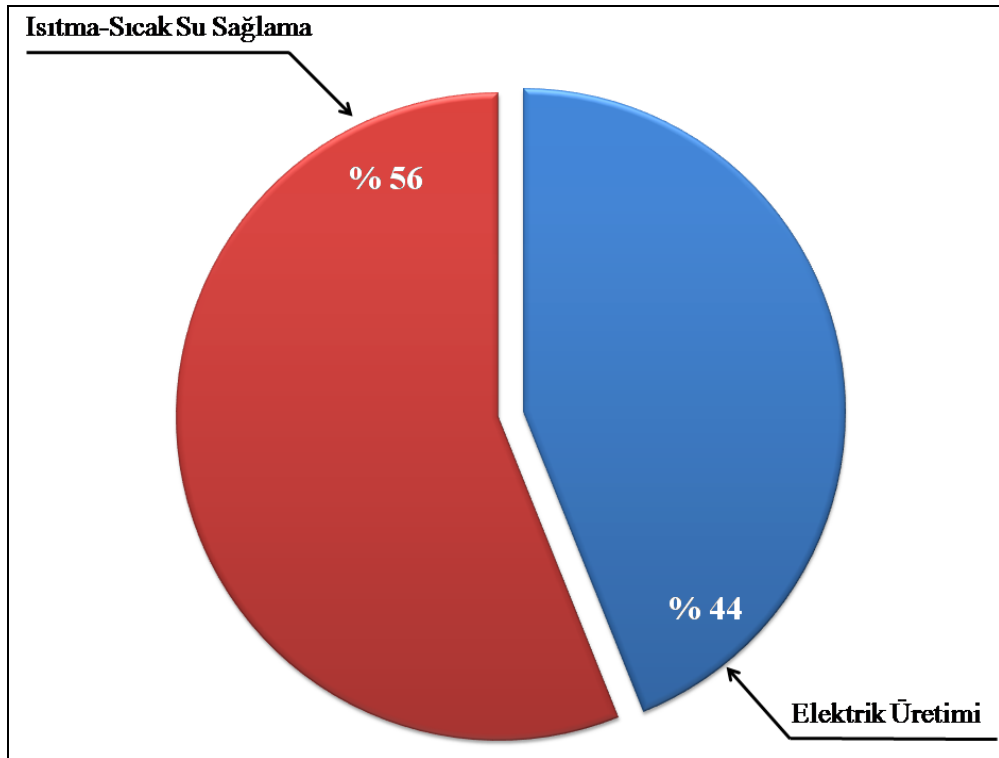
Şekil 6.34 Elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su sağlama birleşik enerji sistem elemanlarının iyileştirilebilirlik potansiyeli



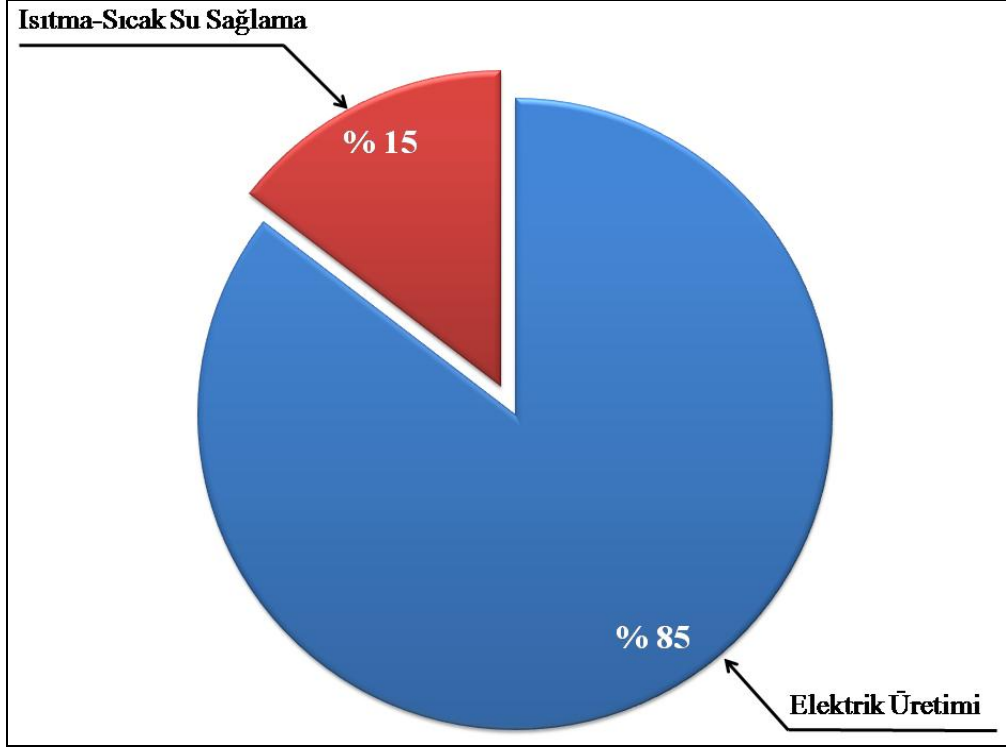
Şekil 6.35 Boyutsuz ekserji yıkım oranının elektrik üretimi ve sıcak su sağlama birleşik sistemi elemanlarına bağlı dağılımı



Şekil 6.36 Elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su sağlama birleşik sistemi elemanları ekserji yıkım oranlarının dağılımı



Şekil 6.37 Enerjinin elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su sağlama birleşik sistemi içinde dağılımı

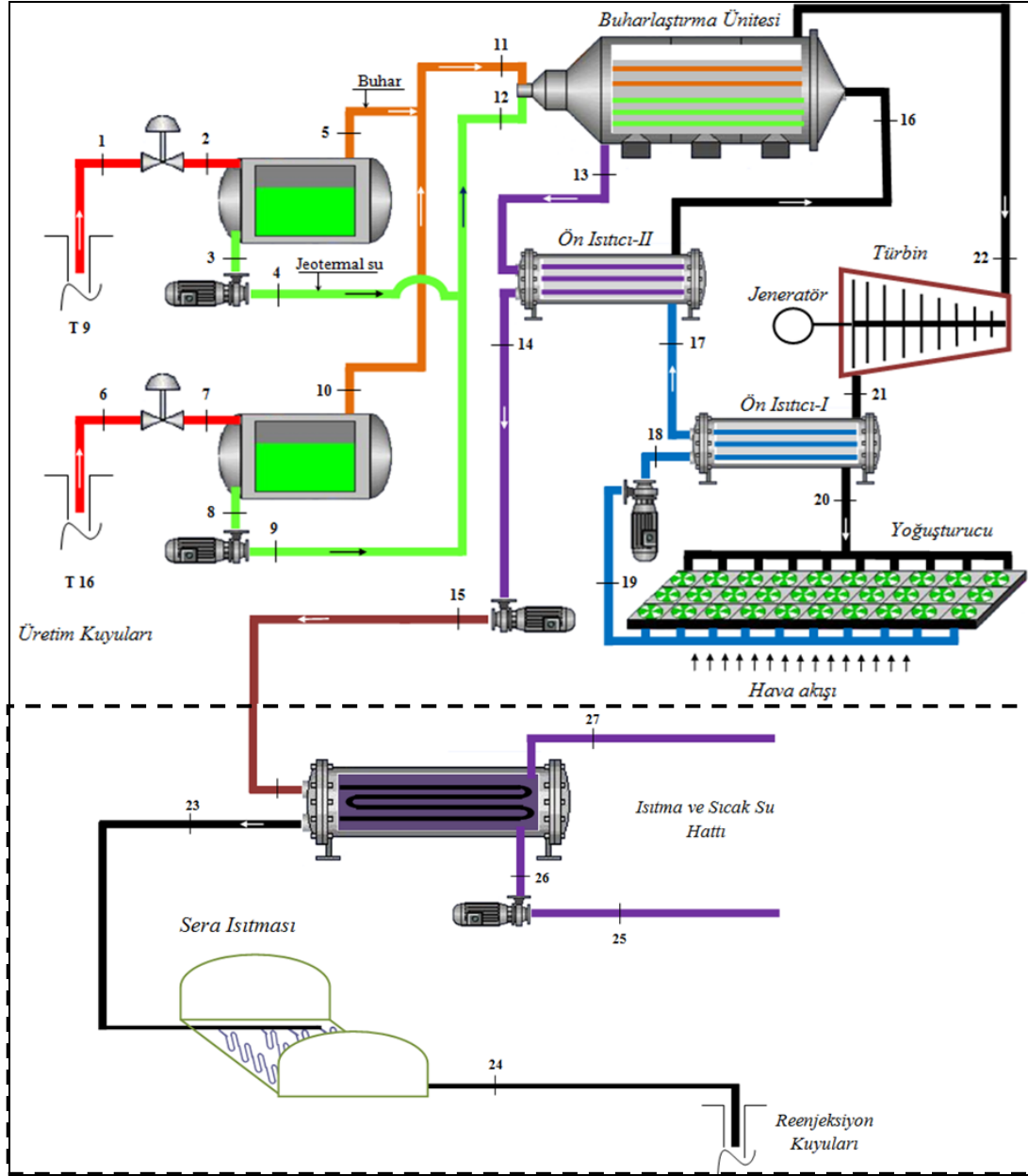


Şekil 6.38 Kullanılan ekserjinin elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su sağlama birleşik sistemi içindeki dağılımı

6.6 Elektrik Üretimi (EÜ), Isıtma-Sıcak Su Sağlama (ISSS) ve Sera Isıtması (SI) Birleşik Enerji Sistemi Analizi

Elektrik üretim sistemine, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma sisteminin eklenmesiyle oluşan birleşik sistemin şematik gösterimi, termodinamik özellikleri ve performans değerleri sırasıyla Şekil 6.39, Çizelge 6.11 ve Çizelge 6.12’de verilmiştir. Analizler ve hesaplamalar sonrasında sistem elemanları içinde en yüksek iyileştirilebilirlik potansiyelinin ısı eşanjöründe olduğu görülmüştür (Şekil 6.40). Boyutsuz ekserji yıkım oranı ve sistem elemanları ekserji yıkım oranı dağılımı grafikleri (Şekil 6.41 ve Şekil 6.42) incelendiğinde en yüksek ekserji kaybının yoğunlaştırıcı (kondenser) ünitesinde olduğu görülmektedir. Kullanılan enerjinin ve ekserjinin elektrik üretimi, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik sistemi içindeki dağılımı Şekil 6.43 ve Şekil 6.44’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu grafiklerden enerjinin ve ekserjinin elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi içindeki dağılımı daha kolay bir biçimde karşılaştırılabilir.

Grafiklerden de kolayca görülebileceği üzere yararlı ekserjinin kullanımı açısından en yüksek paya % 78 ile elektrik üretim ünitesinde ulaşılmaktadır.



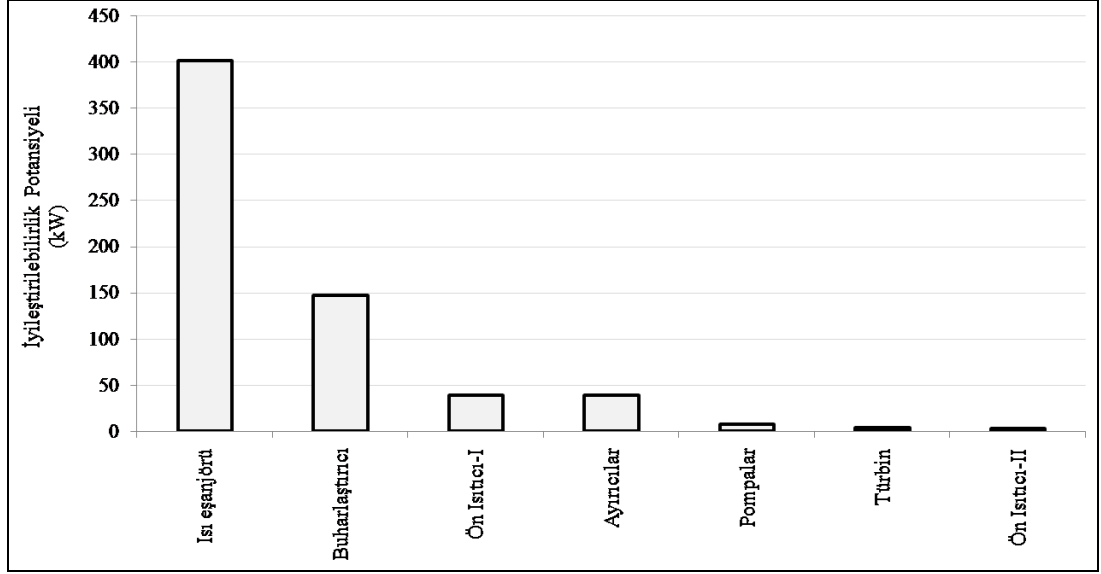
Şekil 6.39 Sisteme ısıtma-sıcak su eldesi ve sera ısıtma ünitesinin eklenmesi ile oluşan şematik gösterim

Çizelge 6.11 Elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su birleşik enerji sistem işletme ve termodinamik değerleri

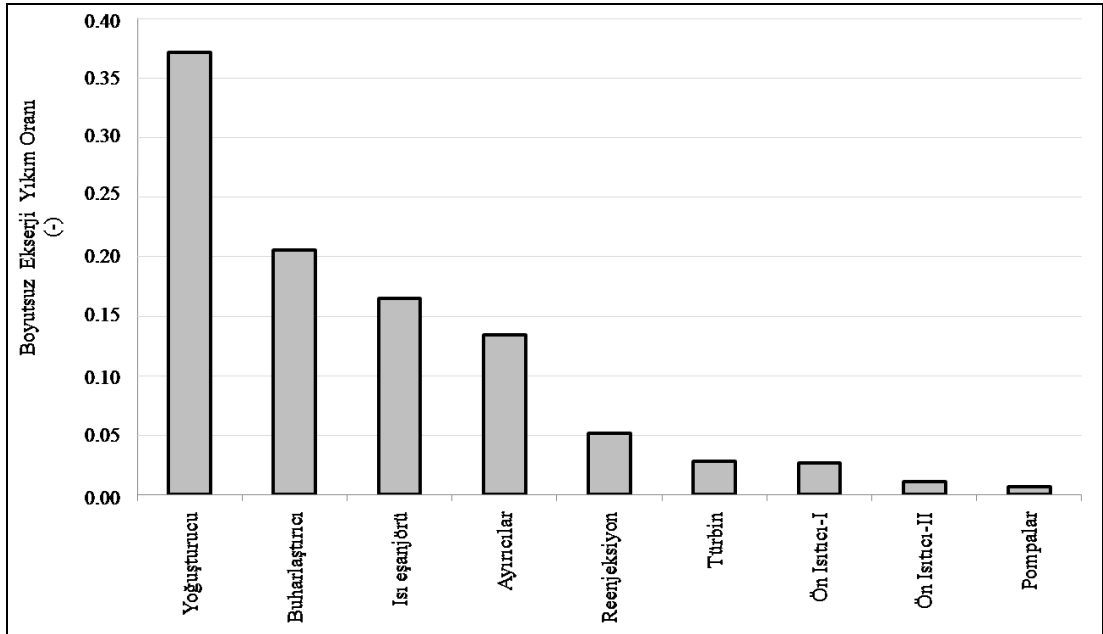
Kesit No	Akışkan	Debi \dot{m} (kg/s)	Sıcaklık T (°C)	Basınç P (kPa)	Entalpi h (kJ/kg)	Entropi s (kJ/kg°C)	Enerji \dot{E} (MW)	Ekserji \dot{E}_x (MW)
0	Izopen.	-	9.8	101	-378.6	-1.780	-	-
0	Su	-	9.8	101	41.1	0.144	-	-
1	JS	79.90	156.8	570	692.0	1.959	52.008	10.996
2	JS+B	79.90	142.8	391	691.8	1.986	51.992	10.370
3	JS	76.51	142.8	391	601.2	1.769	42.852	7.693
4	JS	76.51	142.9	772	601.9	1.769	42.905	7.746
5	B	3.39	142.8	391	2737.0	6.903	9.149	2.662
6	JS	23.65	164.2	687	794.0	2.214	17.809	3.962
7	JS+B	23.65	142.8	391	793.8	2.231	17.805	3.844
8	JS	21.52	142.8	391	601.2	1.769	12.055	2.164
9	JS	21.52	142.9	728	601.8	1.769	12.068	2.177
10	B	2.13	142.8	391	2737.0	6.903	5.745	1.672
11	B	5.52	141.5	377	2735.4	6.915	14.885	4.306
12	JS	98.03	142.6	550	600.4	1.766	54.829	9.862
13	JS	103.56	104.4	320	438.5	1.383	41.153	4.868
14	JS	103.56	72.0	240	302.4	0.954	27.059	3.338
15	JS	103.56	72.1	540	302.8	0.955	27.100	3.350
16	Izopen.	77.80	84.0	967	-201.1	-1.247	13.810	2.083
17	Izopen.	77.80	40.4	967	-307.1	-1.555	5.563	0.612
18	Izopen.	77.80	20.1	967	-354.7	-1.704	1.859	0.187
19	Izopen.	77.80	20.0	120	-354.8	-1.705	1.852	0.202
20	Izopen.	77.80	30.0	122	5.9	-0.526	29.914	2.324
21	Izopen.	77.80	57.5	126	55.7	-0.376	33.789	2.898
22	Izopen.	77.80	135.0	967	157.9	-0.347	41.740	10.211
23	JS	103.56	50.0	300	209.4	0.700	17.429	1.146
24	JS	103.56	25.0	120	104.5	0.358	5.769	0.293
25	Su	91.00	40.0	200	167.7	0.572	15.261	0.506
26	Su	91.00	40.1	500	168.4	0.574	15.324	0.518
27	Su	91.00	65.0	470	272.5	0.893	24.798	1.782

Çizelge 6.12 Elektrik üretimi ve sıcak su birleşik enerji sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri

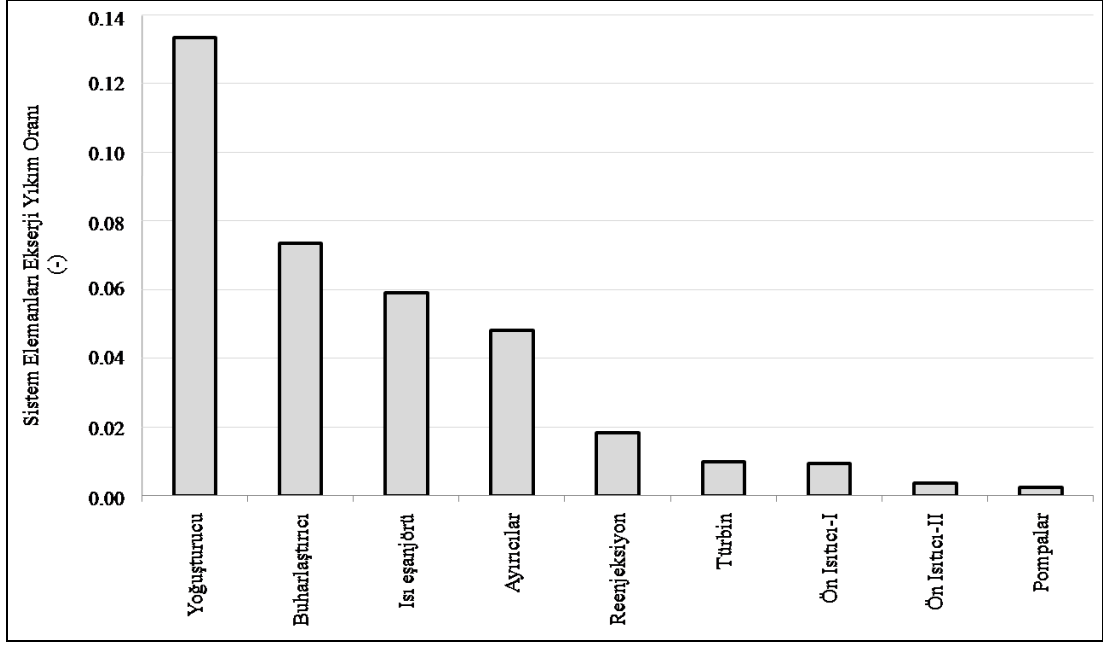
Sistem Bileşenleri	Isıl kayıplar (MW)	Ekserji Yıkım ve Kayıpları (MW)	Enerji verimi (%)	Ekserji verimi (%)	IP (kW)
Buharlaştırıcı	0.631	1.171	97.79	87.41	147
Ön Isıtıcı-I	0.171	0.149	95.58	74.02	39
Ön Isıtıcı-II	5.847	0.060	58.51	96.07	3
Türbin	0.795	0.157	90.00	97.85	4
Pompalar	0.030	0.038	86.16	82.81	7
Ayırıcılar	0.016	0.767	99.97	94.87	39
Isı eşanjörü	0.197	0.940	97.96	57.35	401
Reenjeksiyon	5.769	0.293	-	-	-
Yoğuşturucu	28.062	2.122	-	-	-



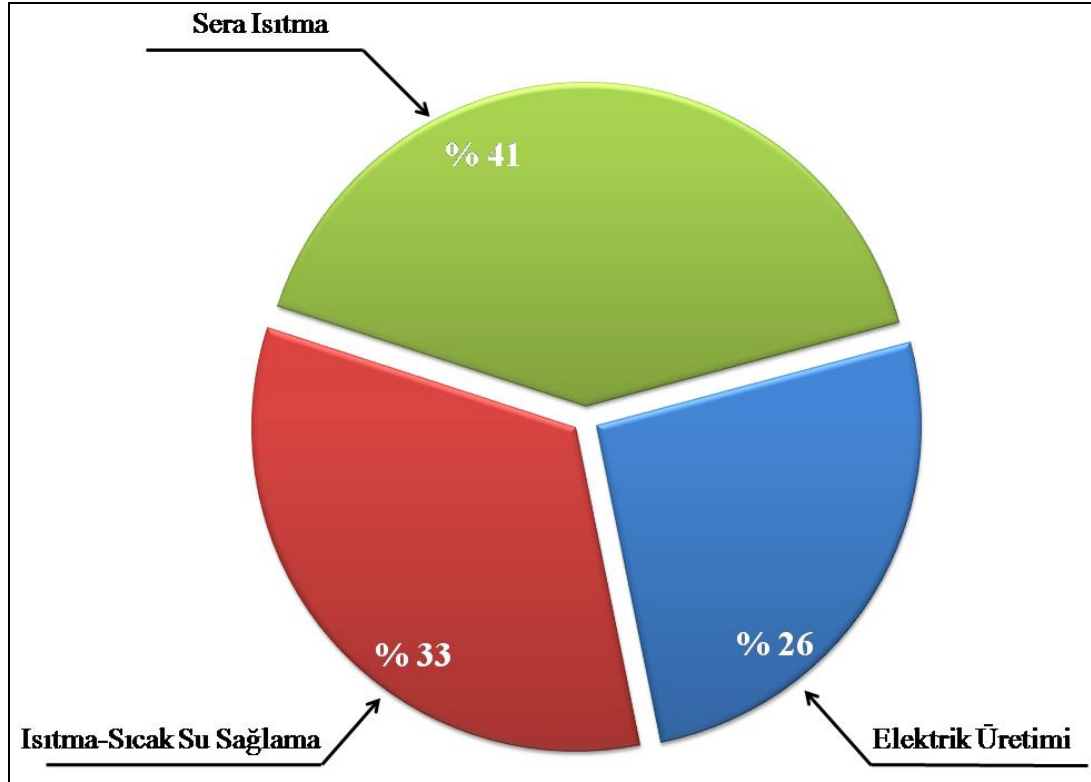
Şekil 6.40 Elektrik üretimi, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sistem elemanlarının iyileştirilebilirlik potansiyeli



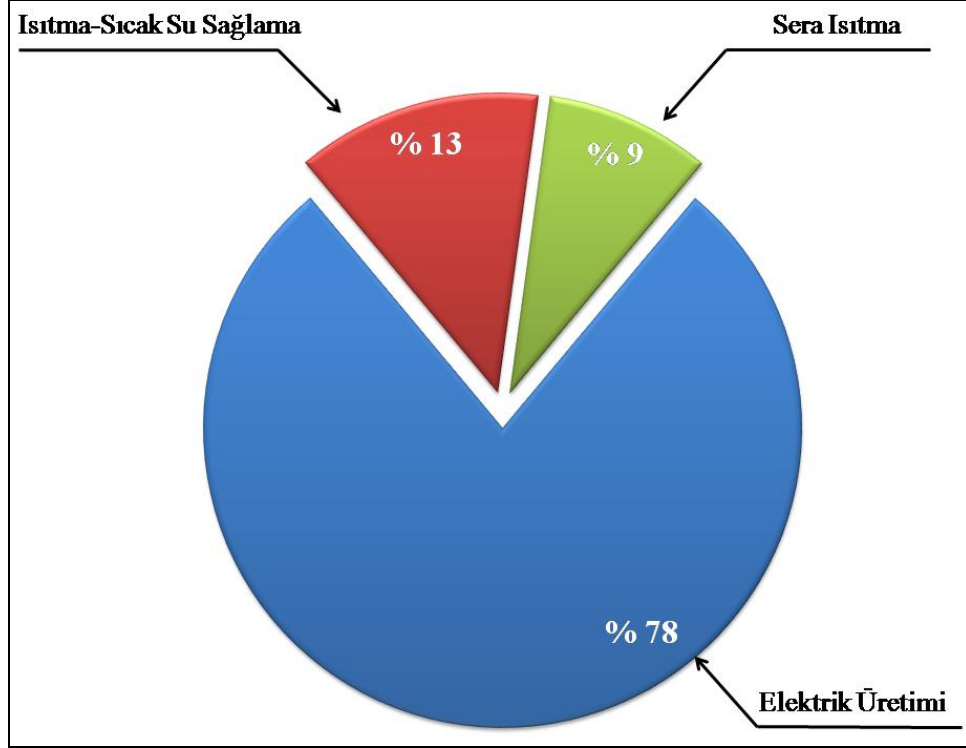
Şekil 6.41 Boyutsuz ekserji yıkım oranının elektrik üretimi, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik sistemi elemanlarına bağlı dağılımı



Şekil 6.42 Elektrik üretimi, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik sistemi elemanları ekserji yıkım oranlarının dağılımı



Şekil 6.43 Elektrik üretimi, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için kullanılan enerjinin dağılımı

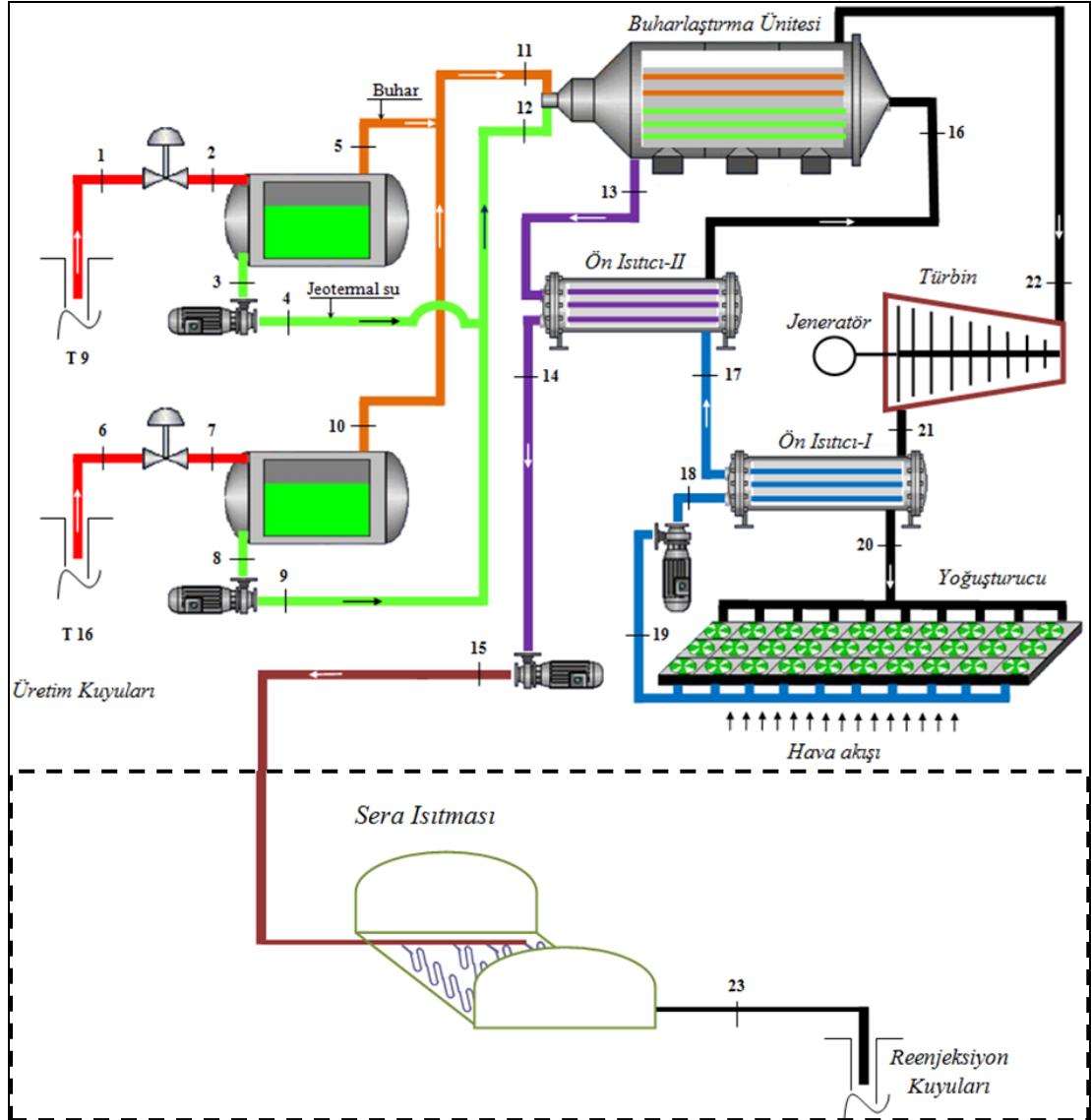


Şekil 6.44 Kullanılan ekserjinin elektrik üretimi, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi içindeki dağılımı

6.7 Elektrik Üretimi (EÜ) ve Sera Isıtma (SI) Birleşik Enerji Sistemi Analizi

Elektrik üretim sistemine sera ısıtma sisteminin eklenmesiyle oluşan birleşik sisteminin şematik gösterimi, termodinamik özellikleri ve performans değerleri sırasıyla Şekil 6.45, Çizelge 6.13 ve Çizelge 6.14’de verilmiştir. Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik sistemi için Sankey ve Grosman diyagramı Şekil 6.46 ve Şekil 6.47’de verilmiştir. Analizler ve hesaplamalar sonrasında sistem elemanları içinde en yüksek iyileştirilebilirlik potansiyeline buharlaştırıcı ünitesinin sahip olduğu görülmüştür (Şekil 6.48). Boyutsuz ekserji yıkım oranı ve sistem elemanları ekserji yıkım oranı dağılımı grafikleri (Şekil 6.49 ve Şekil 6.50) incelendiğinde en yüksek ekserji kaybının yoğunlaştırıcı (kondenser) ünitesinde olduğu görülmektedir. Kullanılan enerjinin ve ekserjinin birleşik enerji sistemleri içindeki yüzdesel dağılımı Şekil 6.51 ve Şekil 6.52’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu sayede enerjinin ve ekserjinin dağılımı daha kolay bir biçimde karşılaştırılabilmektedir. Bu grafiklerden

enerjinin ve ekserjinin elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik sistemi içindeki dağılımı daha kolay bir biçimde karşılaştırılabilir.



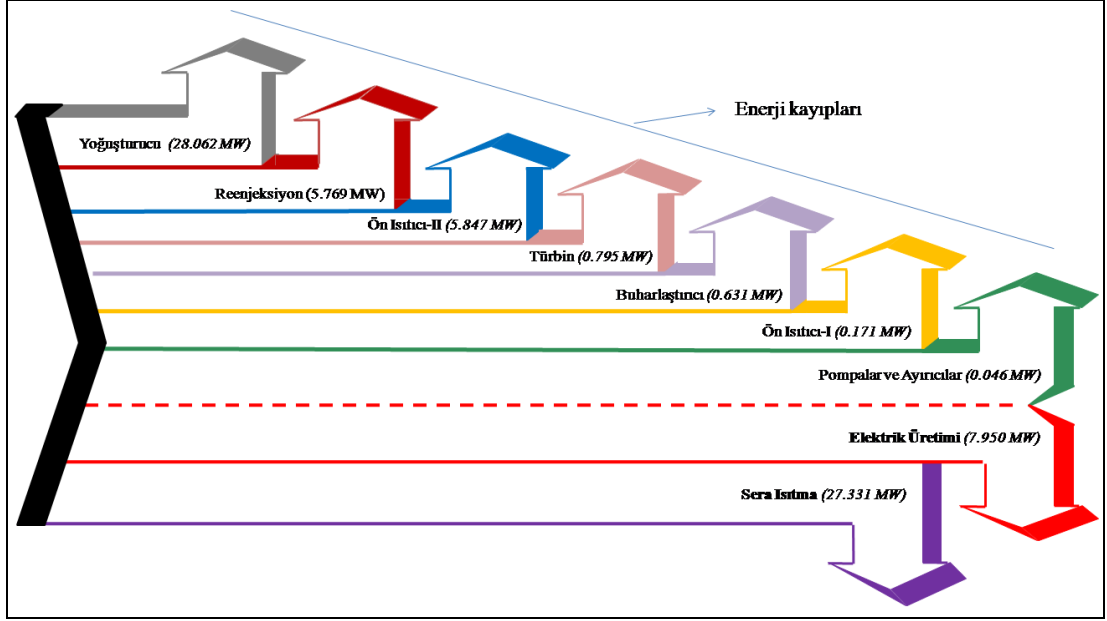
Şekil 6.45 Sisteme sera ısıtması ünitesinin eklenmesi ile oluşan şematik gösterim

Çizelge 6.13 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik enerji sistem işletme ve termodinamik değerleri

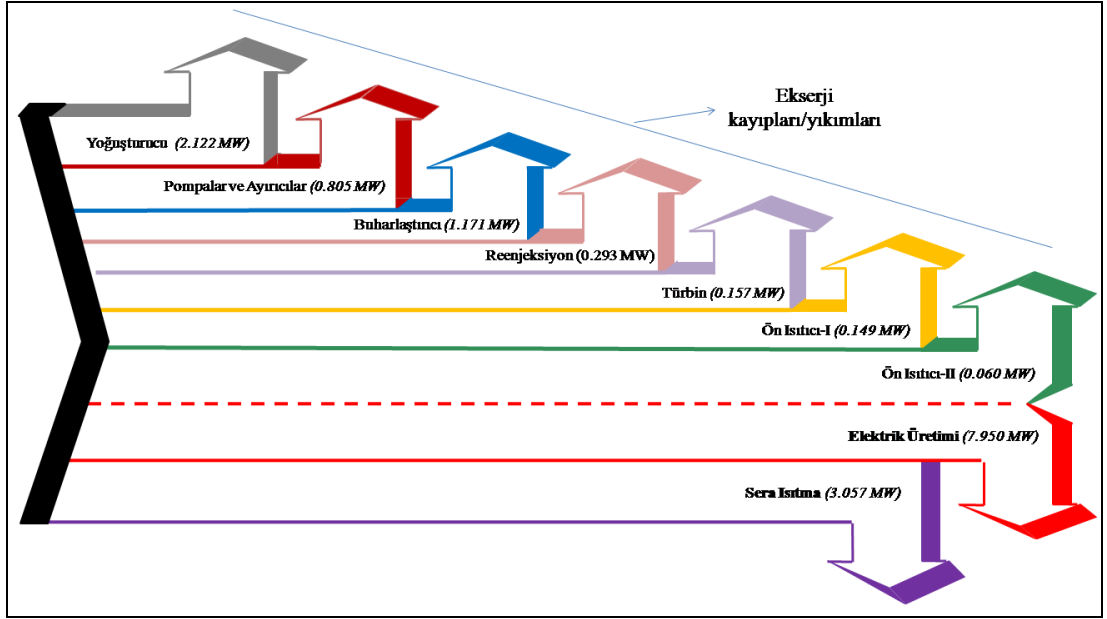
Kesit No	Akışkan	Debi \dot{m} (kg/s)	Sıcaklık T (°C)	Basınç P (kPa)	Entalpi h (kJ/kg)	Entropi s (kJ/kg°C)	Enerji \dot{E} (MW)	Ekserji \dot{E}_x (MW)
0	Izopen.	-	9.8	101	-378.6	-1.780	-	-
0	Su	-	9.8	101	41.1	0.144	-	-
1	JS	79.90	156.8	570	692.0	1.959	52.008	10.996
2	JS+B	79.90	142.8	391	691.8	1.986	51.992	10.370
3	JS	76.51	142.8	391	601.2	1.769	42.852	7.693
4	JS	76.51	142.9	772	601.9	1.769	42.905	7.746
5	B	3.39	142.8	391	2737.0	6.903	9.149	2.662
6	JS	23.65	164.2	687	794.0	2.214	17.809	3.962
7	JS+B	23.65	142.8	391	793.8	2.231	17.805	3.844
8	JS	21.52	142.8	391	601.2	1.769	12.055	2.164
9	JS	21.52	142.9	728	601.8	1.769	12.068	2.177
10	B	2.13	142.8	391	2737.0	6.903	5.745	1.672
11	B	5.52	141.5	377	2735.4	6.915	14.885	4.306
12	JS	98.03	142.6	550	600.4	1.766	54.829	9.862
13	JS	103.56	104.4	320	438.5	1.383	41.153	4.868
14	JS	103.56	72.0	240	302.4	0.954	27.059	3.338
15	JS	103.56	72.1	540	302.8	0.955	27.100	3.350
16	Izopen.	77.80	84.0	967	-201.1	-1.247	13.810	2.083
17	Izopen.	77.80	40.4	967	-307.1	-1.555	5.563	0.612
18	Izopen.	77.80	20.1	967	-354.7	-1.704	1.859	0.187
19	Izopen.	77.80	20.0	120	-354.8	-1.705	1.852	0.202
20	Izopen.	77.80	30.0	122	5.9	-0.526	29.914	2.324
21	Izopen.	77.80	57.5	126	55.7	-0.376	33.789	2.898
22	Izopen.	77.80	135.0	967	157.9	-0.347	41.740	10.211
23	JS	103.56	25.0	120	104.5	0.358	5.769	0.293

Çizelge 6.14 Elektrik ve sıcak su birleşik enerji sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri

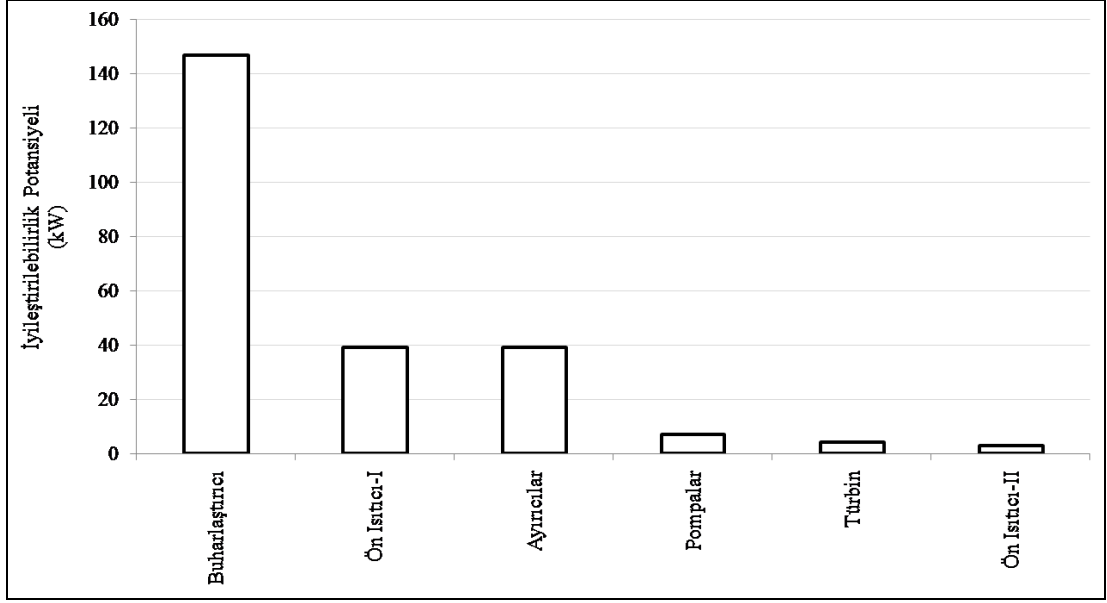
Sistem Bileşenleri	Isıl kayıplar (MW)	Ekserji Yıkım ve Kayıpları (MW)	Enerji verimi (%)	Ekserji verimi (%)	IP (kW)
Buharlaştırıcı	0.631	1.171	97.79	87.41	147
Ön Isıtıcı-I	0.171	0.149	95.58	74.02	39
Ön Isıtıcı-II	5.847	0.060	58.51	96.07	3
Türbin	0.795	0.157	90.00	97.85	4
Pompalar	0.030	0.038	86.16	82.81	7
Ayırıcılar	0.016	0.767	99.97	94.87	39
Reenjeksiyon	5.769	0.293	-	-	-
Yoğuşturucu	28.062	2.122	-	-	-



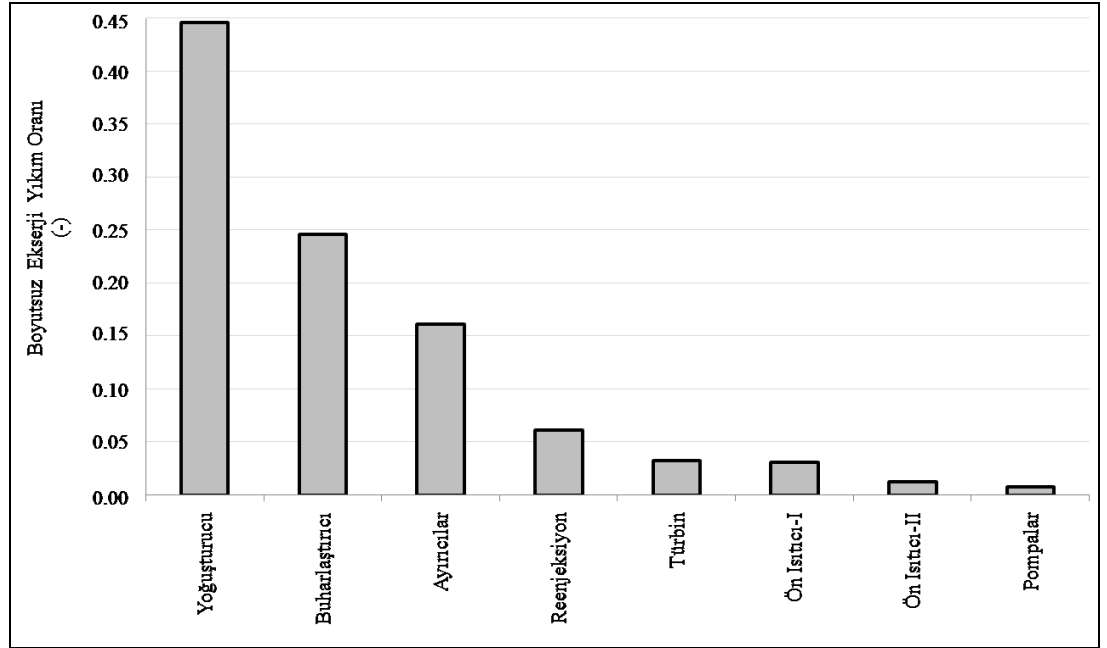
Şekil 6.46 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik sistemi için Sankey diyagramı



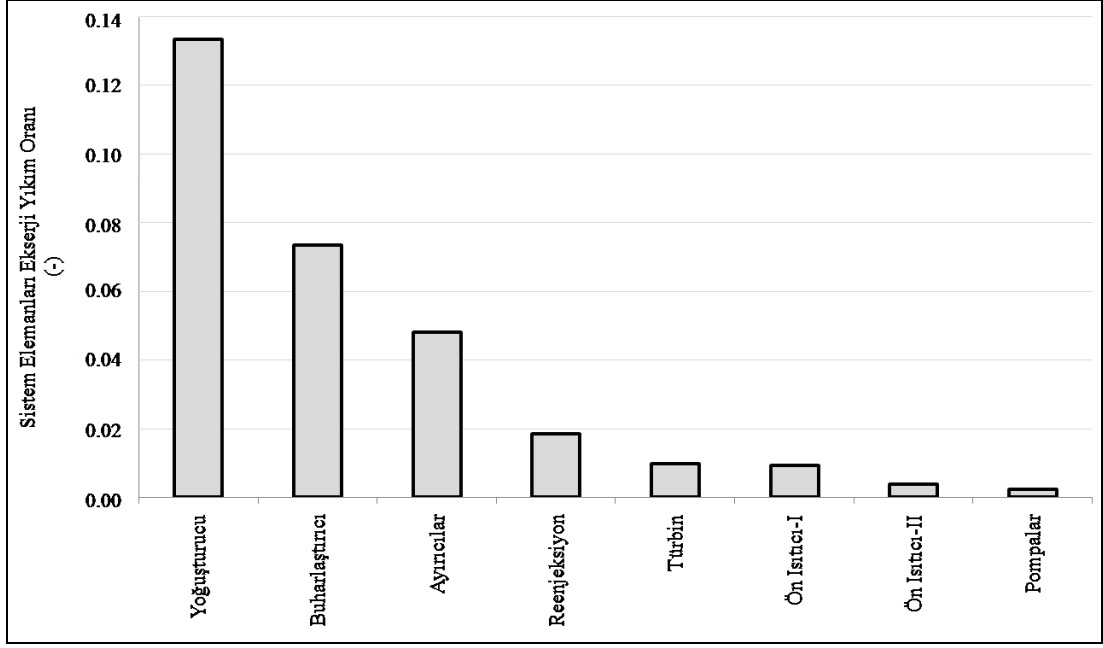
Şekil 6.47 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik sistemi için Grosman diyagramı



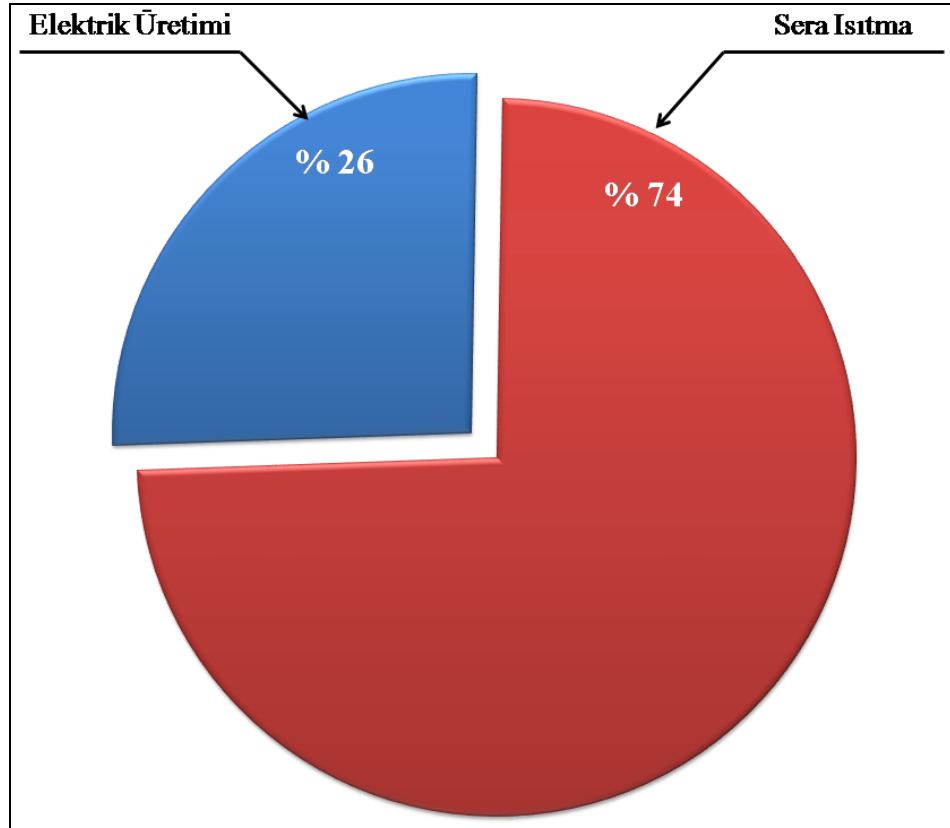
Şekil 6.48 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik enerji sistem elemanlarının iyileştirilebilirlik potansiyeli



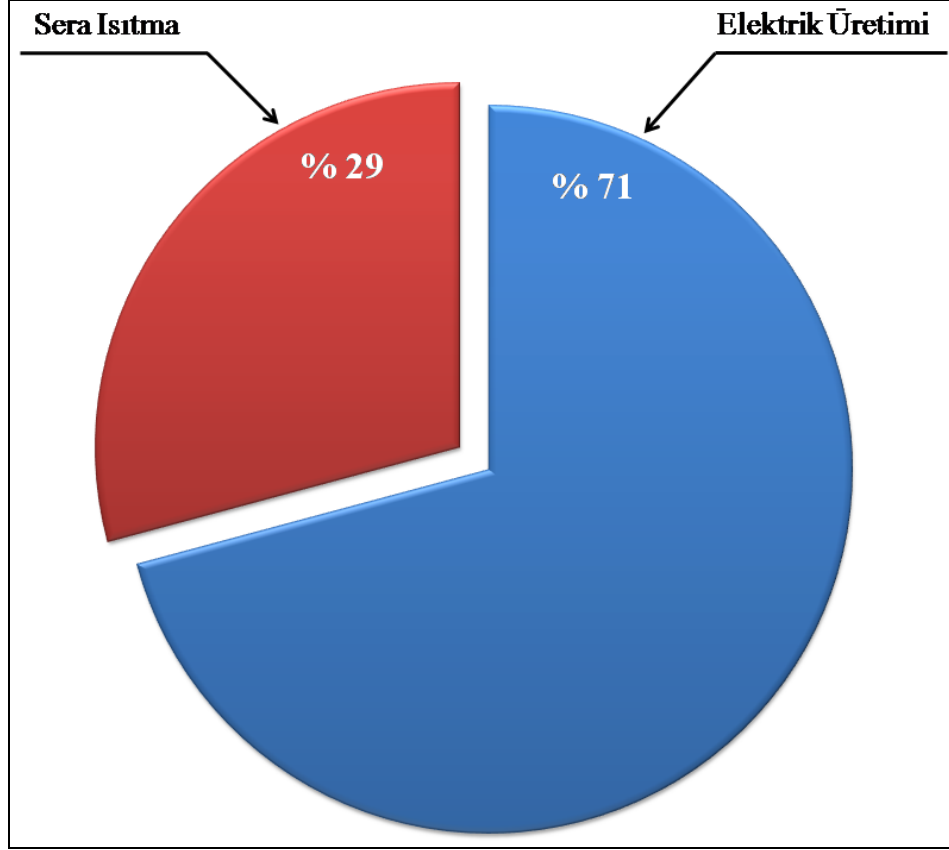
Şekil 6.49 Boyutsuz ekserji yıkım oranının elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik sistemi elemanlarına bağlı dağılımı



Şekil 6.50 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik sistemi elemanları ekserji yıkım oranlarının dağılımı



Şekil 6.51 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için kullanılan enerjinin dağılımı



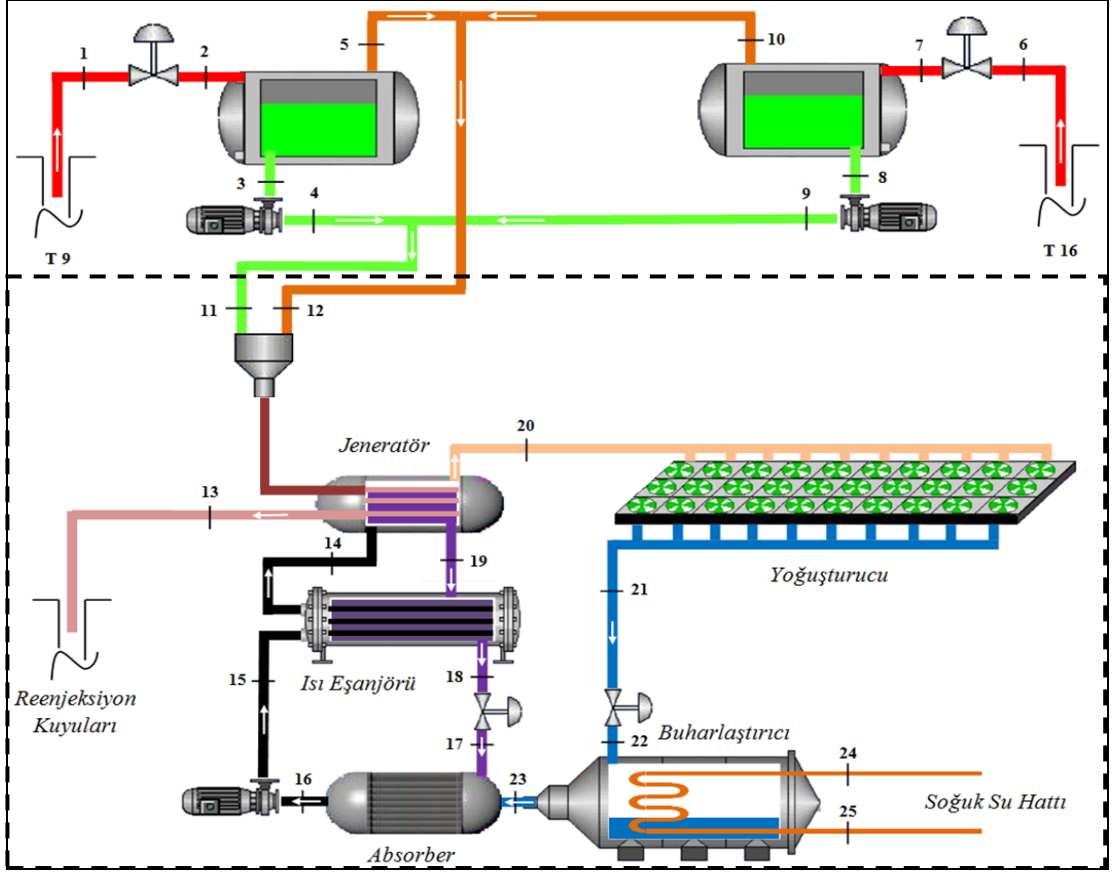
Şekil 6.52 Kullanılan ekserjinin birleşik enerji sistemi içindeki dağılımı

6.8 Tek Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (TEAS) Sisteminin Analizi

Jeotermal kaynaktan tek etkili absorpsiyonlu soğutma ünitesinin beslenmesi ile oluşan birleşik sisteminin şematik gösterimi, termodinamik özellikleri ve performans değerleri sırasıyla Şekil 6.53, Çizelge 6.15 ve Çizelge 6.16'da verilmiştir.

Çizelge 6.15 TEAS sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri

Sistem Bileşenleri	Isıl kayıplar (MW)	Ekserji Yıkım ve Kayıpları (MW)	Enerji verimi (%)	Ekserji verimi (%)	<i>IP</i> (kW)
Ayırıcılar	0.287	1.035	98.75	83.41	172
Buharlaştırıcı	0.633	0.381	97.92	80.79	68
Kaynatıcı (Jeneratör)	0.869	4.614	97.76	27.01	3367
Isı Eşanjörü	1.258	0.183	85.76	71.29	51
Yoğuşturucu	32.038	1.035	-	-	-
Kısılma vanaları	-	1.582	-	-	-
Absorber	35.279	-	-	-	-
Reenjeksiyon	23.459	1.981	-	-	-



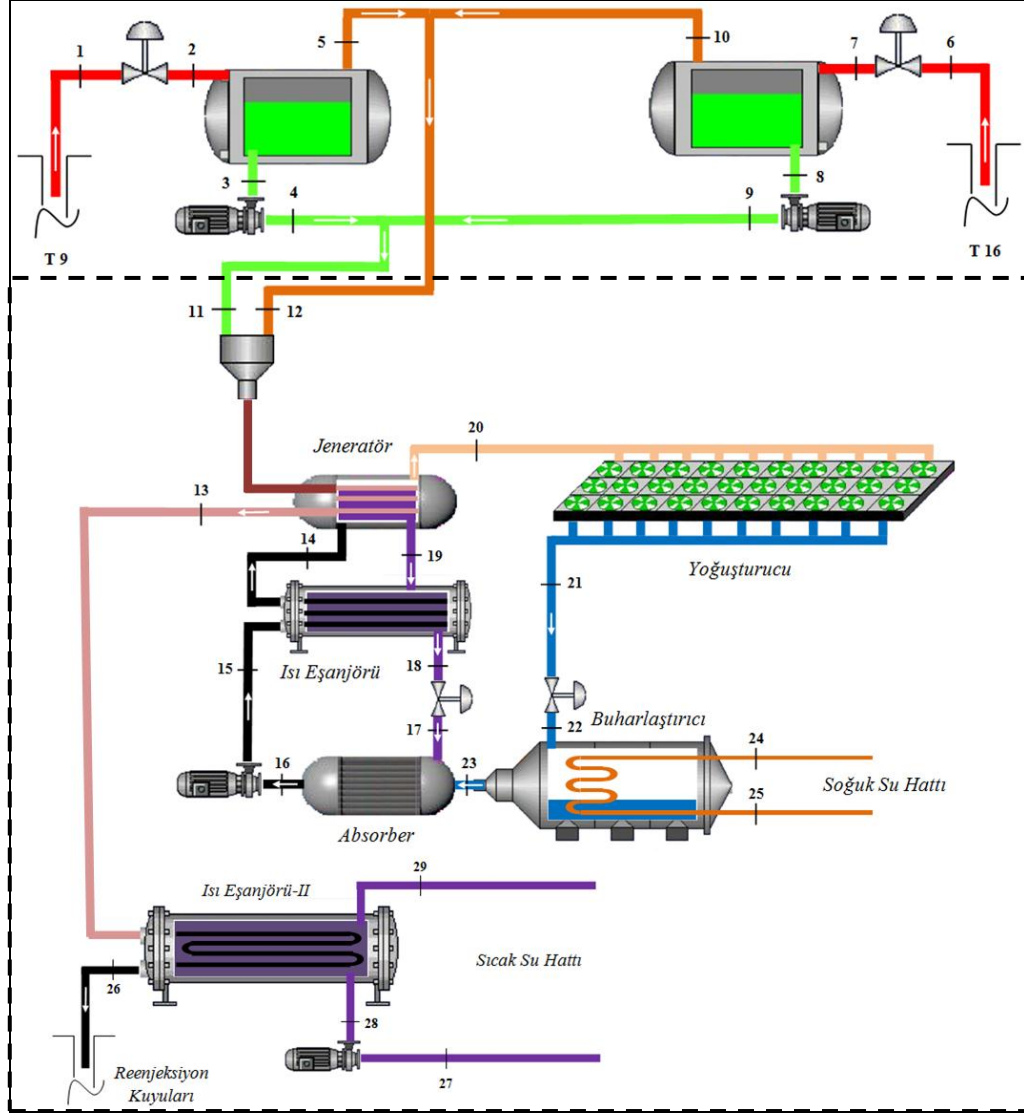
Şekil 6.53 Jeotermal kaynaktan tek etkili absorpsiyonlu soğutma ünitesinin beslenmesi ile oluşan şematik gösterim

Çizelge 6.16 TEAS enerji sistem işletme ve termodinamik değerleri

Kesit No	Akışkan	Debi \dot{m} (kg/s)	Sıcaklık T (°C)	Basınç P (kPa)	Entalpi h (kJ/kg)	Entropi s (kJ/kg°C)	Enerji \dot{E} (MW)	Ekserji \dot{E}_x (MW)
0	Su	-	25.4	101	106.6	0.373	-	-
0	LiBr-Su (% 55)	-	25.4	101	-190.0	0.1479	-	-
0	LiBr-Su (% 59)	-	25.4	101	-185.0	0.1371	-	-
1	JS	79.11	156.8	570	692.0	1.959	46.311	8.871
2	JS+B	79.11	142.8	377	691.8	1.986	46.295	8.218
3	JS	75.75	142.8	377	601.2	1.769	37.466	5.911
4	JS	75.75	142.9	377	601.9	1.769	37.518	5.964
5	B	3.36	142.8	377	2737.0	6.903	8.838	2.291
6	JS	23.42	164.2	687	794.0	2.214	16.099	3.233
7	JS+B	23.42	142.8	377	793.8	2.231	16.094	3.110
8	JS	21.31	142.8	377	601.2	1.769	10.540	1.663
9	JS	21.31	142.9	377	601.8	1.769	10.552	1.676
10	B	2.11	142.8	377	2737.0	6.903	5.550	1.439
11	JS	5.47	141.5	377	2735.4	6.915	14.380	3.701
12	B	97.06	142.6	377	600.4	1.766	47.928	7.583
13	JS	102.53	80.0	500	335.4	1.075	23.459	1.981
14	LiBr-Su	189.48	55.0	5.627	-130	0.337	11.360	0.6769
15	LiBr-Su	189.48	35.1	5.627	-170	0.211	3.789	0.2219
16	LiBr-Su	189.48	35.0	1.002	-171	0.211	3.604	0.2177
17	LiBr-Su	176.56	47.0	1.002	-133	0.268	7.950	2.2847
18	LiBr-Su	176.56	52.0	5.627	-133	0.298	7.950	0.7030
19	LiBr-Su	176.56	75.0	5.627	-90	0.430	16.779	1.3411
20	B	12.92	75.0	5.627	2640	8.591	32.561	1.0432
21	Su	12.92	35.0	5.627	146.6	0.505	0.523	0.0084
22	Su	12.92	7.0	1.002	146.6	0.525	0.523	-0.0692
23	Su	12.92	7.0	1.002	2513	8.973	30.932	-2.0551
24	Su	1182	8.0	380	34.0	0.121	-85.783	3.0687
25	Su	1182	14.0	430	59.2	0.210	-56.007	1.4643

6.9 Tek Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (TEAS) ve Sıcak Su Sağlama (SSS) Birleşik Enerji Sistemi Analizi

Jeotermal kaynaktan tek etkili absorbsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama ünitesinin beslenmesi ile oluşan birleşik sisteminin şematik gösterimi, termodinamik özellikleri ve performans değerleri sırasıyla Şekil 6.54, Çizelge 6.17 ve Çizelge 6.18'de verilmiştir.



Şekil 6.54 Jeotermal kaynaktan tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama ünitesinin beslenmesi ile oluşan şematik gösterim

Çizelge 6.17 Tek etkili soğutma ve sıcak su birleşik sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri

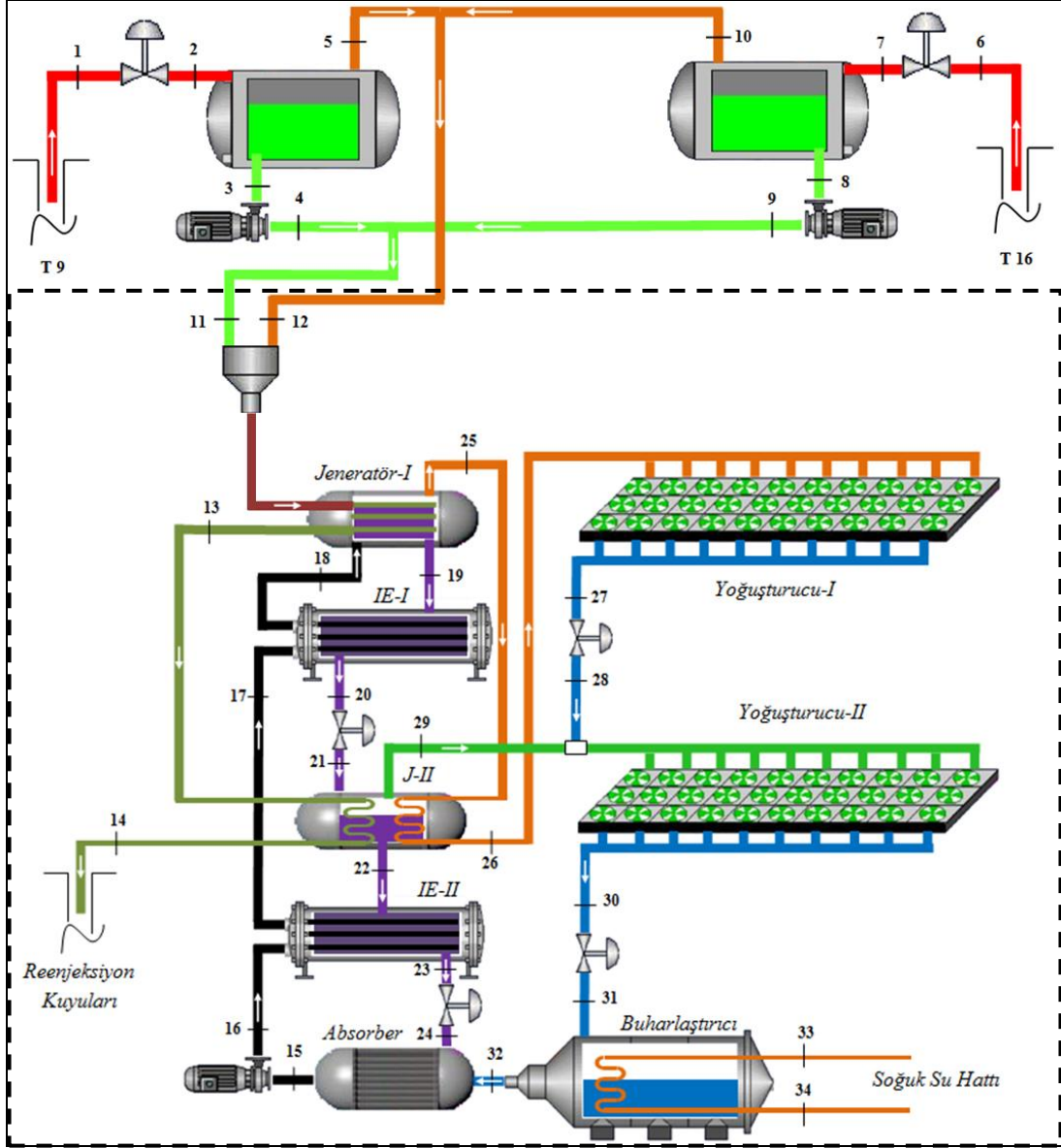
Sistem Bileşenleri	Isıl kayıplar (MW)	Ekserji Yıkım ve Kayıpları (MW)	Enerji verimi (%)	Ekserji verimi (%)	<i>IP</i> (kW)
Ayırıcılar	0.287	1.035	98.75	83.41	172
Buharlaştırıcı	0.633	0.381	97.92	80.79	68
Kaynatici (Jeneratör)	0.869	4.614	97.76	27.01	3367
Isı Eşanjörü-I	1.258	0.183	85.76	71.29	51
Isı Eşanjörü-II	0.648	0.877	94.96	42.55	503.8
Yoğuşturucu	32.038	1.035	-	-	-
Absorber	35.279	-	-	-	-
Reenjeksiyon	10.581	0.454	-	-	-

Çizelge 6.18 Tek etkili soğutma ve sıcak su sağlama sistem işletme ve termodinamik değerleri

Kesit No	Akışkan	Debi \dot{m} (kg/s)	Sıcaklık T (°C)	Basınç P (kPa)	Entalpi h (kJ/kg)	Entropi s (kJ/kg°C)	Enerji \dot{E} (MW)	Ekserji \dot{E}_x (MW)
0	Su	-	25.4	101	106.6	0.373	-	-
0	LiBr-Su (% 55)	-	25.4	101	-190.0	0.1479	-	-
0	LiBr-Su (% 59)	-	25.4	101	-185.0	0.1371	-	-
1	JS	79.11	156.8	570	692.0	1.959	46.311	8.871
2	JS+B	79.11	142.8	377	691.8	1.986	46.295	8.218
3	JS	75.75	142.8	377	601.2	1.769	37.466	5.911
4	JS	75.75	142.9	377	601.9	1.769	37.518	5.964
5	B	3.36	142.8	377	2737.0	6.903	8.838	2.291
6	JS	23.42	164.2	687	794.0	2.214	16.099	3.233
7	JS+B	23.42	142.8	377	793.8	2.231	16.094	3.110
8	JS	21.31	142.8	377	601.2	1.769	10.540	1.663
9	JS	21.31	142.9	377	601.8	1.769	10.552	1.676
10	B	2.11	142.8	377	2737.0	6.903	5.550	1.439
11	JS	97.06	142.6	377	600.4	1.766	47.928	7.583
12	B	5.47	141.5	377	2735.4	6.915	14.380	3.701
13	JS	102.53	80.0	500	335.4	1.075	23.459	1.981
14	LiBr-Su	189.48	55.0	5.627	-130	0.337	11.360	0.6769
15	LiBr-Su	189.48	35.1	5.627	-170	0.211	3.789	0.2219
16	LiBr-Su	189.48	35.0	1.002	-171	0.211	3.604	0.2177
17	LiBr-Su	176.56	47.0	1.002	-133	0.268	7.950	2.2847
18	LiBr-Su	176.56	52.0	5.627	-133	0.298	7.950	0.7030
19	LiBr-Su	176.56	75.0	5.627	-90	0.430	16.779	1.3411
20	B	12.92	75.0	5.627	2640	8.591	32.561	1.0432
21	Su	12.92	35.0	5.627	146.6	0.505	0.523	0.0084
22	Su	12.92	7.0	1.002	146.6	0.525	0.523	-0.0692
23	Su	12.92	7.0	1.002	2513	8.973	30.932	-2.0551
24	Su	1182	8.0	380	34.0	0.121	-85.783	3.0687
25	Su	1182	14.0	430	59.2	0.210	-56.007	1.4643
26	JS	102.53	50.0	400	209.8	0.704	10.581	0.4542
27	Su	117.50	30.0	200	125.9	0.437	2.268	0.0238
28	Su	117.50	30.1	500	126.6	0.438	2.350	0.0710
29	Su	117.50	55.0	470	230.6	0.768	14.570	0.7205

6.10 Çift Etkili Absorbsiyonlu Soğutma(ÇEAS) Sisteminin Analizi

Jeotermal kaynaktan çift etkili absorbsiyonlu soğutma ünitesinin beslenmesi ile oluşan enerji sisteminin elemanları ile şematik gösterimi Şekil 6.55’de verilmiştir. Belirlenen sisteminin enerjetik ve ekserjetik incelemesi için kullanılan işletme ve termodinamik veriler Çizelge 6.19’da verilmiştir.



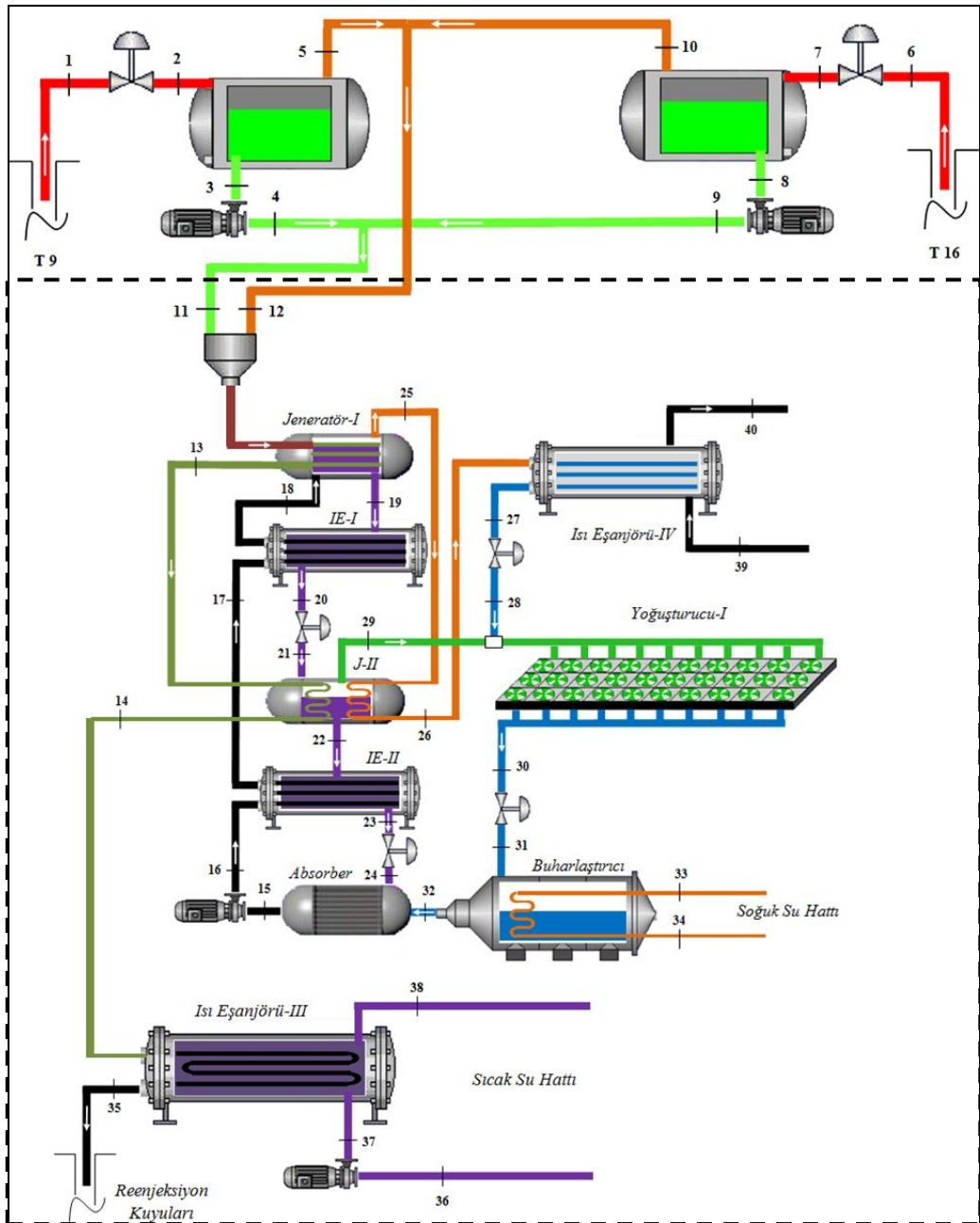
Şekil 6.55 Jeotermal kaynaktan çift etkili absorpsiyonlu soğutma ünitesinin beslenmesi ile oluşan şematik gösterim

Çizelge 6.19 Çift etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistem işletme ve termodinamik değerleri

Kesit No	Akışkan	Debi \dot{m} (kg/s)	Sıcaklık T (°C)	Basınç P (kPa)	Entalpi h (kJ/kg)	Entropi s (kJ/kg°C)	Enerji \dot{E} (MW)	Ekserji \dot{E}_x (MW)
0	Su	-	25.4	101	106.6	0.373	-	-
0	LiBr-Su (% 50)	-	25.4	101	-185	0.1795	-	-
0	LiBr-Su (% 55)	-	25.4	101	-190	0.1479	-	-
0	LiBr-Su (% 57)	-	25.4	101	-195	0.1403	-	-
1	JS	79.11	156.8	570	692.0	1.959	46.311	8.871
2	JS+B	79.11	142.8	377	691.8	1.986	46.295	8.218
3	JS	75.75	142.8	377	601.2	1.769	37.466	5.911
4	JS	75.75	142.9	377	601.9	1.769	37.518	5.964
5	B	3.36	142.8	377	2737.0	6.903	8.838	2.291
6	JS	23.42	164.2	687	794.0	2.214	16.099	3.233
7	JS+B	23.42	142.8	377	793.8	2.231	16.094	3.110
8	JS	21.31	142.8	377	601.2	1.769	10.540	1.663
9	JS	21.31	142.9	377	601.8	1.769	10.552	1.676
10	B	2.11	142.8	377	2737.0	6.903	5.550	1.439
11	JS	97.06	142.6	377	600.4	1.766	47.928	7.583
12	B	5.47	141.5	377	2735.4	6.915	14.380	3.701
13	JS	102.53	115.5	370	485.0	1.479	38.797	4.959
14	JS	102.53	110.0	350	461.4	1.418	36.378	4.406
15	LiBr-Su	83.00	40.0	1.002	-149	0.2804	2.988	0.489
16	LiBr-Su	83.00	40.1	169	-150	0.2811	2.905	0.389
17	LiBr-Su	83.00	65	169	-90	0.4466	7.885	1.269
18	LiBr-Su	83.00	90	169	-35	0.6045	12.450	1.923
19	LiBr-Su	75.46	115.0	169	0	0.6869	14.337	2.201
20	LiBr-Su	75.46	85	169	-70	0.5177	9.055	0.728
21	LiBr-Su	75.46	82.5	7.381	-70	0.5031	9.055	1.057
22	LiBr-Su	72.80	100.0	7.381	-45	0.5835	10.920	1.292
23	LiBr-Su	72.80	60	7.381	-115	0.3543	5.824	1.175
24	LiBr-Su	72.80	58	1.002	-115	0.3423	5.824	1.435
25	B	7.54	115.0	169	2699.0	7.184	20.350	4.222
26	Su	7.54	115.0	169	814.7	2.33	6.143	0.936
27	Su	7.54	40.0	169	167.5	0.5718	1.263	0.012
28	Su	7.54	40.0	7.381	167.5	0.5723	1.263	0.011
29	B	2.66	100.0	7.381	2676.0	8.5670	7.118	0.331
30	Su	10.2	40.0	7.381	167.5	0.5723	1.709	0.015
31	Su	10.2	7.0	1.002	167.5	0.5992	1.709	-0.067
32	B	10.2	7.0	1.002	2513.0	8.973	25.633	-1.630
33	Su	930	8.0	380	34.0	0.121	-67.518	2.415
34	Su	930	14.0	430	59.2	0.210	-44.082	1.152

6.11 Çift Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (ÇEAS) ve Sıcak Su Sağlama (SSS) Birleşik Enerji Sistemi Analizi

Jeotermal kaynaktan çift etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama ünitesinin beslenmesi ile oluşan enerji sisteminin elemanları ile şematik gösterimi Şekil 6.56'da verilmiştir. Belirlenen sisteminin enerjetik ve ekserjetik incelemesi için kullanılan işletme ve termodinamik veriler Çizelge 6.20'de verilmiştir.



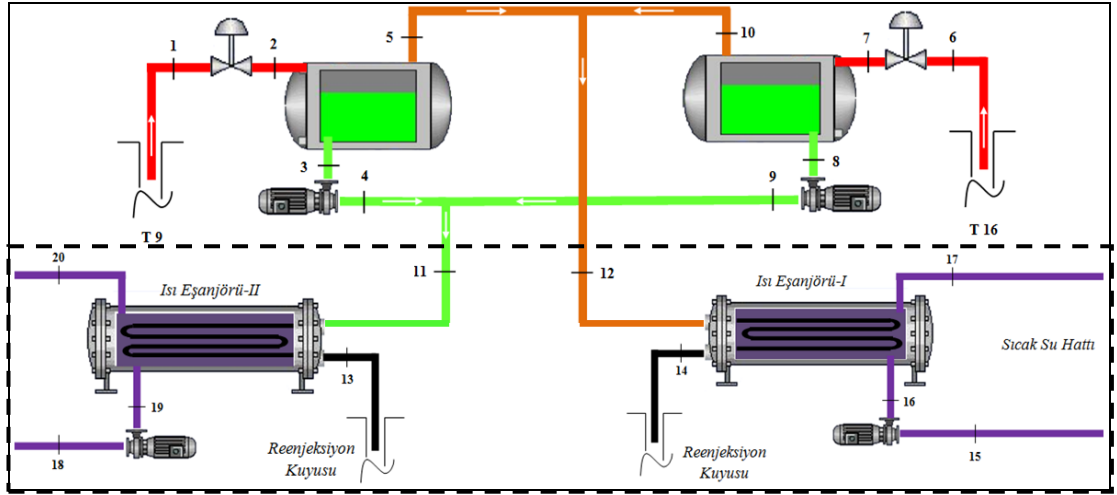
Şekil 6.56 Jeotermal kaynaktan çift etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama ünitesinin beslenmesi ile oluşan şematik gösterim

Çizelge 6.20 Çift etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistem modelinin sistem işletme ve termodinamik değerleri

Kesit No	Akışkan	Debi \dot{m} (kg/s)	Sıcaklık T (°C)	Basınç P (kPa)	Entalpi h (kJ/kg)	Entropi s (kJ/kg°C)	Enerji \dot{E} (MW)	Ekserji \dot{E}_x (MW)
0	Su	-	25.4	101	106.6	0.373	-	-
0	LiBr-Su (% 50)	-	25.4	101	-185.0	0.1795	-	-
0	LiBr-Su (% 55)	-	25.4	101	-190.0	0.1479	-	-
0	LiBr-Su (% 57)	-	25.4	101	-195.0	0.1403	-	-
1	JS	79.11	156.8	570	692.0	1.959	46.311	8.871
2	JS+B	79.11	142.8	377	691.8	1.986	46.295	8.218
3	JS	75.75	142.8	377	601.2	1.769	37.466	5.911
4	JS	75.75	142.9	377	601.9	1.769	37.518	5.964
5	B	3.36	142.8	377	2737.0	6.903	8.838	2.291
6	JS	23.42	164.2	687	794.0	2.214	16.099	3.233
7	JS+B	23.42	142.8	377	793.8	2.231	16.094	3.110
8	JS	21.31	142.8	377	601.2	1.769	10.540	1.663
9	JS	21.31	142.9	377	601.8	1.769	10.552	1.676
10	B	2.11	142.8	377	2737.0	6.903	5.550	1.439
11	JS	97.06	142.6	377	600.4	1.766	47.928	7.583
12	B	5.47	141.5	377	2735.4	6.915	14.380	3.701
13	JS	102.53	115.5	370	485.0	1.479	38.797	4.959
14	JS	102.53	110.0	350	461.4	1.418	36.378	4.406
15	LiBr-Su	83.00	40.0	1.002	-149	0.2804	2.988	0.489
16	LiBr-Su	83.00	40.1	169	-150	0.2811	2.905	0.389
17	LiBr-Su	83.00	65.0	169	-90	0.4466	7.885	1.269
18	LiBr-Su	83.00	90.0	169	-35	0.6045	12.450	1.923
19	LiBr-Su	75.46	115.0	169	0	0.6869	14.337	2.201
20	LiBr-Su	75.46	85.0	169	-70	0.5177	9.055	0.728
21	LiBr-Su	75.46	82.5	7.381	-70	0.5031	9.055	1.057
22	LiBr-Su	72.80	100.0	7.381	-45	0.5835	10.920	1.292
23	LiBr-Su	72.80	60.0	7.381	-115	0.3543	5.824	1.175
24	LiBr-Su	72.80	58.0	1.002	-115	0.3423	5.824	1.435
25	B	7.54	115.0	169	2699.0	7.184	20.350	4.222
26	Su	7.54	115.0	169	814.7	2.33	6.143	0.936
27	Su	7.54	40.0	169	167.5	0.5718	1.263	0.012
28	Su	7.54	40.0	7.381	167.5	0.5723	1.263	0.011
29	B	2.66	100.0	7.381	2676.0	8.5670	7.118	0.331
30	Su	10.2	40.0	7.381	167.5	0.5723	1.709	0.015
31	Su	10.2	7.0	1.002	167.5	0.5992	1.709	-0.067
32	B	10.2	7.0	1.002	2513.0	8.973	25.633	-1.630
33	Su	930	8.0	380	34.0	0.121	-67.518	2.415
34	Su	930	14.0	430	59.2	0.210	-44.082	1.152
35	JS	102.53	50.0	500	209.8	0.704	10.581	0.454
36	Su	243	30.0	200	125.9	0.437	30.594	0.049
37	Su	243	30.1	500	126.6	0.438	30.764	0.147
38	Su	243	55.0	470	230.6	0.768	56.036	1.490
39	Su	45	30.1	500	126.6	0.438	0.900	0.027
40	Su	45	55.0	470	230.6	0.768	5.580	0.276

6.12 Isıtma-Sıcak Su Sağlama (ISSS) Enerji Sistemi Analizi

Jeotermal kaynaktan ısıtma ve sıcak su sağlama ünitesinin beslenmesi ile oluşan enerji sisteminin elemanları ve şematik gösterimi Şekil 6.57’de verilmiştir. Sistem elemanlarında oluşan enerji-ekserji verim değerleri, ısıl kayıplar, ekserjetik yıkım-kayıp değerleri Çizelge 6.21’de verilmiştir. Belirlenen sisteminin enerjetik ve ekserjetik incelemesi için kullanılan işletme ve termodinamik veriler Çizelge 6.22’de verilmiştir.



Şekil 6.57 Jeotermal kaynaktan ısıtma-sıcak su sağlama ünitesinin beslenmesi ile oluşan şematik gösterim

Çizelge 6.21 Isıtma ve sıcak su birleşik enerji sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri

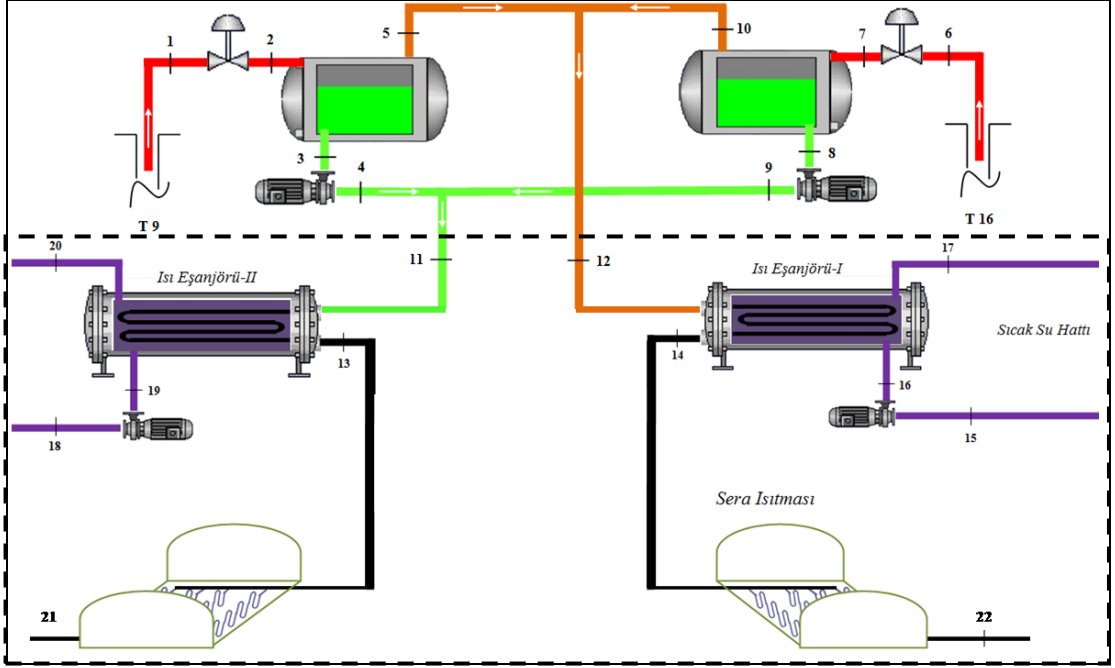
Sistem Bileşenleri	Isıl kayıplar (MW)	Ekserji Yıkım ve Kayıpları (MW)	Enerji verimi (%)	Ekserji verimi (%)	<i>IP</i> (MW)
Isı eşanjörü-I	0.748	3.931	98.05	56.12	1725
Isı eşanjörü-II	0.322	2.440	97.70	42.70	1398
Pompalar	0.030	0.038	86.16	82.81	7
Ayırıcılar	0.016	0.767	99.97	94.87	39
Reenjeksiyon	17.469	1.070	-	-	-

Çizelge 6.22 Isıtma ve sıcak su birleşik enerji sistem modelinin sistem işletme ve termodinamik değerleri

Kesit No	Akışkan	Debi \dot{m} (kg/s)	Sıcaklık T (°C)	Basınç P (kPa)	Entalpi h (kJ/kg)	Entropi s (kJ/kg°C)	Enerji \dot{E} (MW)	Ekserji \dot{E}_x (MW)
0	Su	-	9.8	101	41.1	0.144	-	-
1	JS	79.90	156.8	570	692.0	1.959	52.008	10.996
2	JS+B	79.90	142.8	391	691.8	1.986	51.992	10.370
3	JS	76.51	142.8	391	601.2	1.769	42.852	7.693
4	JS	76.51	142.9	772	601.9	1.769	42.905	7.746
5	B	3.39	142.8	391	2737.0	6.903	9.149	2.662
6	JS	23.65	164.2	687	794.0	2.214	17.809	3.962
7	JS+B	23.65	142.8	391	793.8	2.231	17.805	3.844
8	JS	21.52	142.8	391	601.2	1.769	12.055	2.164
9	JS	21.52	142.9	728	601.8	1.769	12.068	2.177
10	B	2.13	142.8	391	2737.0	6.903	5.745	1.672
11	JS	98.03	142.6	650	601.8	1.767	54.970	9.971
12	JS	5.52	141.5	380	2739.3	6.920	14.890	4.316
13	JS	98.03	50.0	470	209.8	0.704	16.538	1.013
14	JS	5.52	50.0	200	209.8	0.704	0.931	0.057
15	Su	131	40.0	200	167.7	0.572	16.585	0.729
16	Su	131	40.1	500	168.4	0.574	16.676	0.746
17	Su	131	65.0	470	272.5	0.893	30.313	2.565
18	Su	362	40.0	200	167.7	0.572	45.829	2.013
19	Su	362	40.1	500	168.4	0.574	46.083	2.062
20	Su	362	65.0	470	272.5	0.893	83.767	7.089

6.13 Isıtma-Sıcak Su Sağlama (ISSS) ve Sera Isıtma (SI) Birleşik Enerji Sistemi Analizi

Jeotermal kaynaktan Isıtma, sıcak su sağlama ve sera ısıtma ünitesinin beslenmesi ile oluşan enerji sisteminin elemanları ile şematik gösterimi Şekil 6.58'de verilmiştir. Sistem elemanlarında oluşan enerji-ekserji verim değerleri, ısı kayıpları, ekserjetik yıkım/kayıp değerleri Çizelge 6.23'de verilmiştir. Belirlenen sisteminin enerjetik ve ekserjetik incelemesi için kullanılan işletme ve termodinamik veriler Çizelge 6.24'de verilmiştir.



Şekil 6.58 Jeotermal kaynaktan ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ünitesinin beslenmesi ile oluşan şematik gösterim

Çizelge 6.23 Isıtma, sıcak su ve sera ısıtma birleşik enerji sistem elemanlarının enerjetik ve ekserjetik performans değerleri

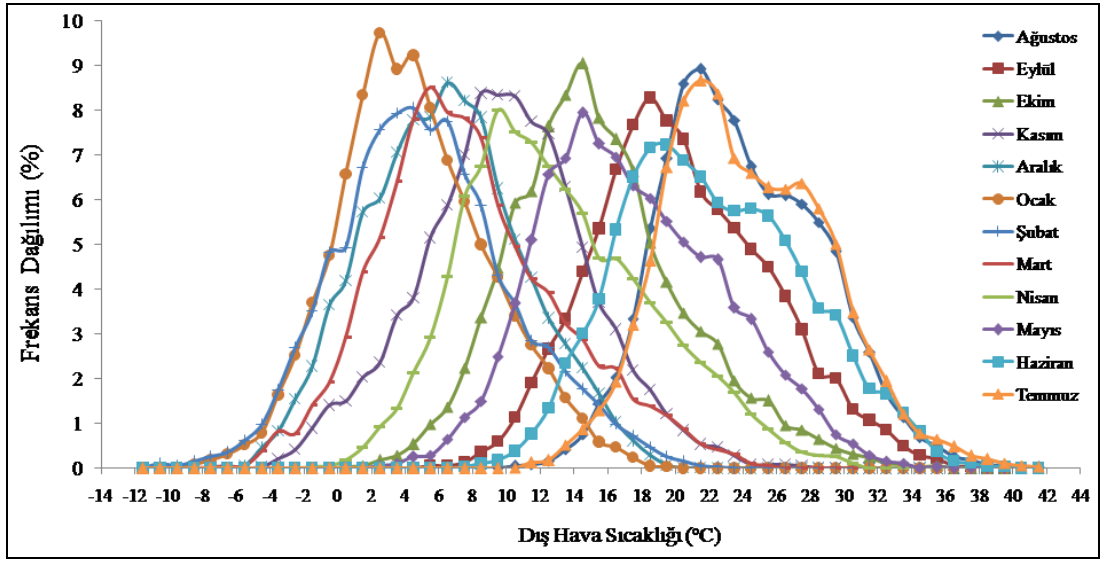
Sistem Bileşenleri	Isıl kayıplar (MW)	Ekserji Yıkım ve Kayıpları (MW)	Enerji verimi (%)	Ekserji verimi (%)	<i>IP</i> (MW)
Isı eşanjörü-I	0.748	3.931	98.05	56.12	1725
Isı eşanjörü-II	0.322	2.440	97.70	42.70	1398
Pompalar	0.030	0.038	86.16	82.81	7
Ayırıcılar	0.016	0.767	99.97	94.87	39
Reenjeksiyon	6.627	0.097	-	-	-

Çizelge 6.24 Isıtma, sıcak su ve sera ısıtma birleşik enerji sistem işletme ve termodinamik değerleri

Kesit No	Akışkan	Debi \dot{m} (kg/s)	Sıcaklık T (°C)	Basınç P (kPa)	Entalpi h (kJ/kg)	Entropi s (kJ/kg°C)	Enerji \dot{E} (MW)	Ekserji \dot{E}_x (MW)
0	Su	-	9.8	101	41.1	0.144	-	-
1	JS	79.90	156.8	570	692.0	1.959	52.008	10.996
2	JS+B	79.90	142.8	391	691.8	1.986	51.992	10.370
3	JS	76.51	142.8	391	601.2	1.769	42.852	7.693
4	JS	76.51	142.9	772	601.9	1.769	42.905	7.746
5	B	3.39	142.8	391	2737.0	6.903	9.149	2.662
6	JS	23.65	164.2	687	794.0	2.214	17.809	3.962
7	JS+B	23.65	142.8	391	793.8	2.231	17.805	3.844
8	JS	21.52	142.8	391	601.2	1.769	12.055	2.164
9	JS	21.52	142.9	728	601.8	1.769	12.068	2.177
10	B	2.13	142.8	391	2737.0	6.903	5.745	1.672
11	JS	98.03	142.6	650	601.8	1.767	54.970	9.971
12	JS	5.52	141.5	380	2739.3	6.920	14.890	4.316
13	JS	98.03	50.0	470	209.8	0.704	16.538	1.013
14	JS	5.52	50.0	200	209.8	0.704	0.931	0.057
15	Su	131	40.0	200	167.7	0.572	16.585	0.729
16	Su	131	40.1	500	168.4	0.574	16.676	0.746
17	Su	131	65.0	470	272.5	0.893	30.313	2.565
18	Su	362	40.0	200	167.7	0.572	45.829	2.013
19	Su	362	40.1	500	168.4	0.574	46.083	2.062
20	Su	362	65.0	470	272.5	0.893	83.767	7.089
21	JS	98.03	25.0	300	105.1	0.367	6.274	0.092
22	JS	5.52	25.0	300	105.1	0.367	0.353	0.005

7. BULGULAR

Elektrik üretim sistemi otomatik kontrol ünitesinde kaydedilen değerler kullanılarak dış hava sıcaklık değerlerine bağlı olarak sistemin enerjetik ve ekserjetik verim dağılımları belirlenmiştir. Bu aşama sonrasında meteorolojiden alınan son 35 yılı kapsayan saatlik dış hava sıcaklık verileri kullanılarak birleşik enerji sistemleri için ısıtma veya soğutma dönemi boyunca verim değerindeki dağılım ve dağılım aralığı tespit edilmiştir. Bölge için yıllık dış hava sıcaklık frekans dağılımı Şekil 7.1’de verilmiştir. Aşağıda her bir model için analiz sonuçları ayrı alt başlıklar altında açıklanmıştır.



Şekil 7.1 Yıllık dış hava sıcaklık frekans dağılımı

7.1 Elektrik Üretimi (EÜ) İçin Bulgular

Enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığıyla değişimi Şekil 7.2’de verilmektedir. Bölge dış hava sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında elektrik üretimi için ekserji verimi % 35 ile % 49 arasında değişmektedir (Şekil 7.3). Dış hava sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında yıllık ortalama ekserji verimi % 45.2

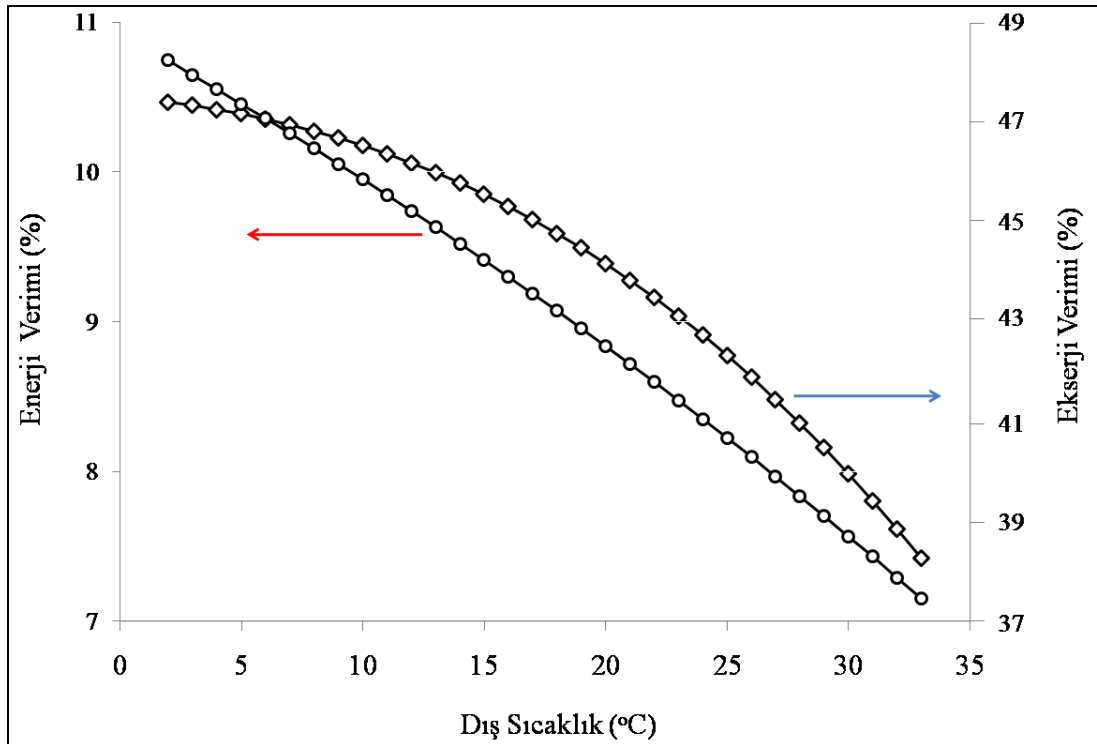
olarak tespit edilmiştir. Yıllık bazda elektrik üretim sisteminin enerji verim değeri de % 6 ile % 12 değeri arasında değişmektedir (Şekil 7.4). Aynı şekilde yıllık dış hava sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında yıllık ortalama enerji verimi % 9.47 olarak tespit edilmiştir

Referans dış çevre sıcaklığı sabit olarak alınmamıştır. Gerçek saatlik ortalama dış sıcaklık değerleri referans çevre sıcaklığı olarak alınmıştır. Hem saatlik referans sıcaklık değerindeki hem de işletme şartlarındaki değişime bağlı olarak ekserji ve enerji verim fonksiyonları bulunmuş ve bunlar Denklem 7.1 ve Denklem 7.2’de verilmiştir.

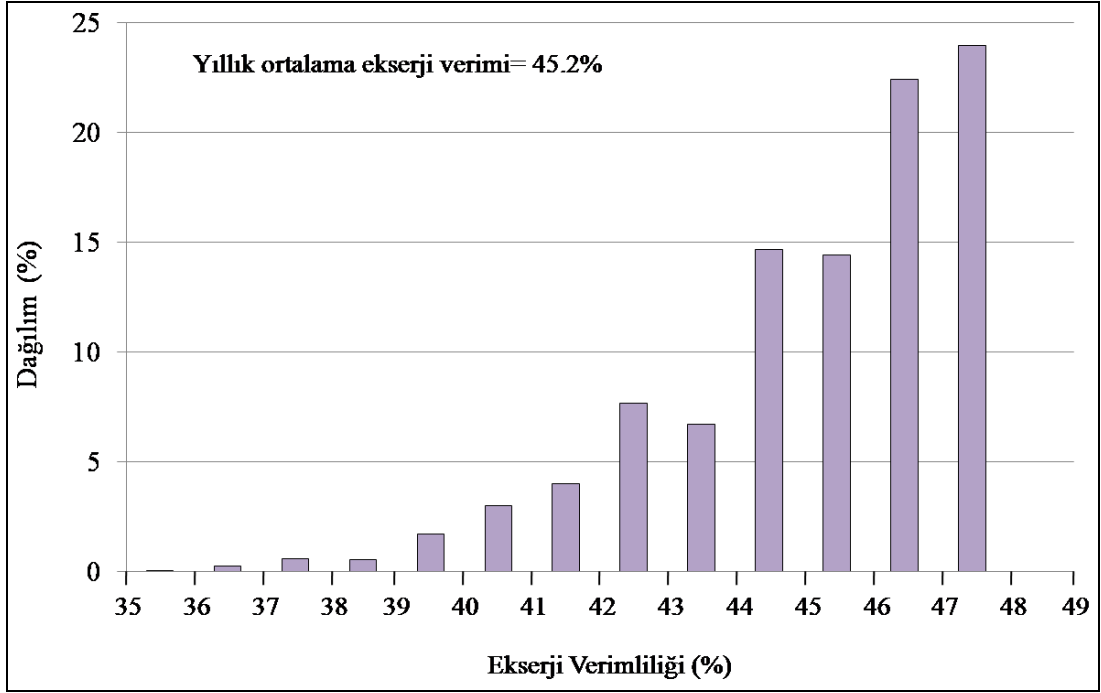
$$\varepsilon_{EÜ} = 47.52 - 0.0465 \cdot T - 0.00448 \cdot T^2 - 0.000079 \cdot T^3 \quad (R^2=0.98) \quad (7.1)$$

$$\eta_{EÜ} = 10.94 - 0.0936 \cdot T - 0.00044 \cdot T^2 - 0.000006 \cdot T^3 \quad (R^2=0.99) \quad (7.2)$$

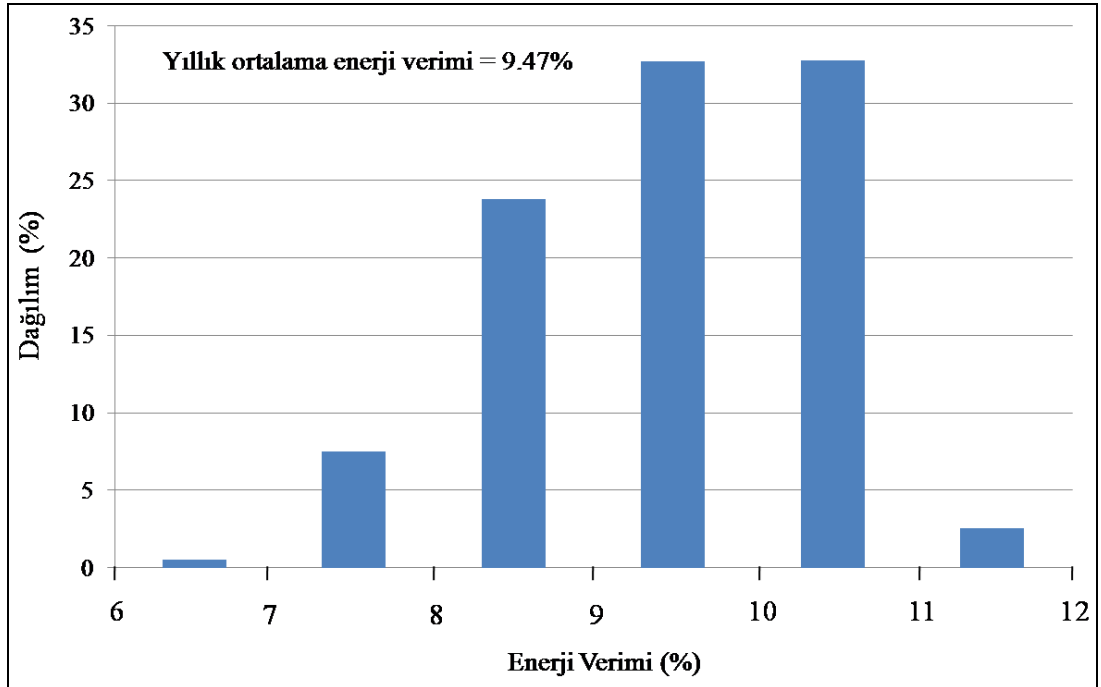
Denklem 7.1 ve Denklem 7.2 ile verilen eşitliklerde ε ve T sırasıyla ekserji verimini (%) ve dış çevre sıcaklığını (°C) göstermektedir.



Şekil 7.2 Elektrik üretimi sistemi için enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığına bağlı değişimi



Şekil 7.3 Elektrik üretim sistemi ekserji veriminin yıllık bazda değişimi



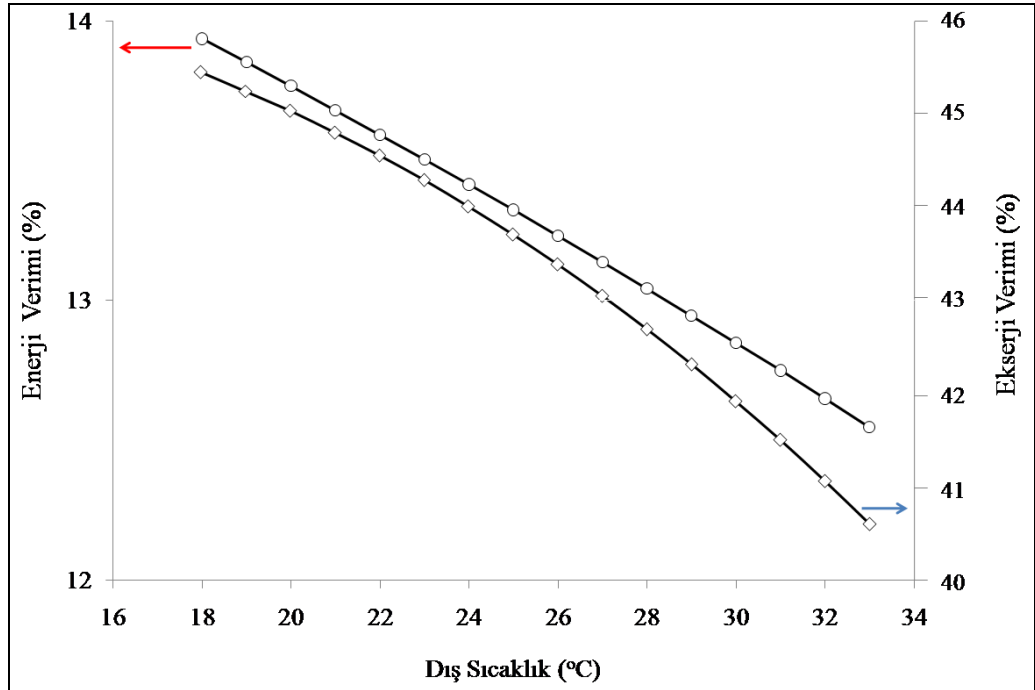
Şekil 7.4 Elektrik üretim sistemi enerji veriminin yıllık bazda değişimi

7.2 Elektrik Üretimi (EÜ) ve Tek Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (TEAS) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar

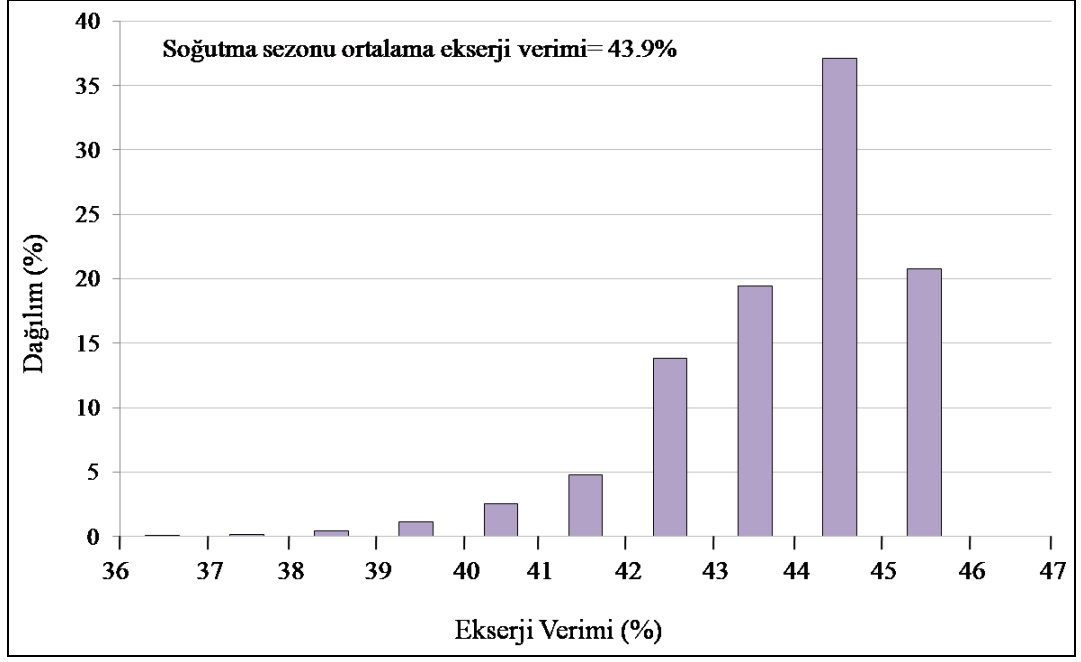
İncelemenin yapıldığı elektrik üretim sistemine tek etkili absorbsiyonlu soğutma sisteminin eklenmesi ile oluşan birleşik enerji sistemi için parametrik olarak analiz yapılmıştır. Birleşik sistemin enerji ve ekserji veriminin dış sıcaklıkla değişimi Şekil 7.5’de verilmektedir. Bölge dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında birleşik sistem için ekserji verimi % 36 ile % 46 arasında değişmektedir (Şekil 7.6). Yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama ekserji verimi % 43.9 olarak tespit edilmiştir. Birleşik sisteminin enerji verim değeri de % 11 ile % 14 arasında değişmektedir (Şekil 7.7). Aynı şekilde yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama enerji verimi % 13.4 olarak tespit edilmiştir. Dış çevre sıcaklığı parametresine bağlı olarak ekserji ve enerji verim değeri fonksiyonu Denklem 7.3 ve Denklem 7.4’de verilmektedir.

$$\eta_{EÜ+TEAS} = 15.24 - 0.061 \cdot T - 0.000613 \cdot T^2 \quad (R^2=0.98) \quad (7.3)$$

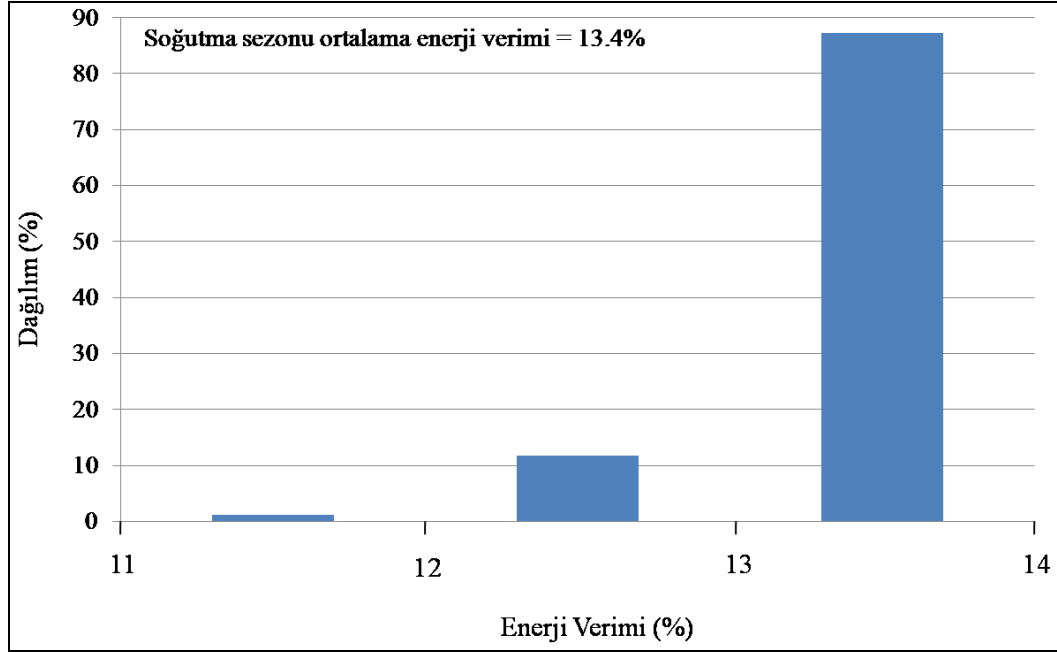
$$\varepsilon_{EÜ+TEAS} = 45.71 + 0.1515 \cdot T - 0.00927 \cdot T^2 \quad (R^2=0.97) \quad (7.4)$$



Şekil 7.5 Elektrik üretimi ve tek etkili absorbsiyonlu soğutma birleşik enerji sistemi için enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığına bağlı değişimi



Şekil 7.6 Elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi



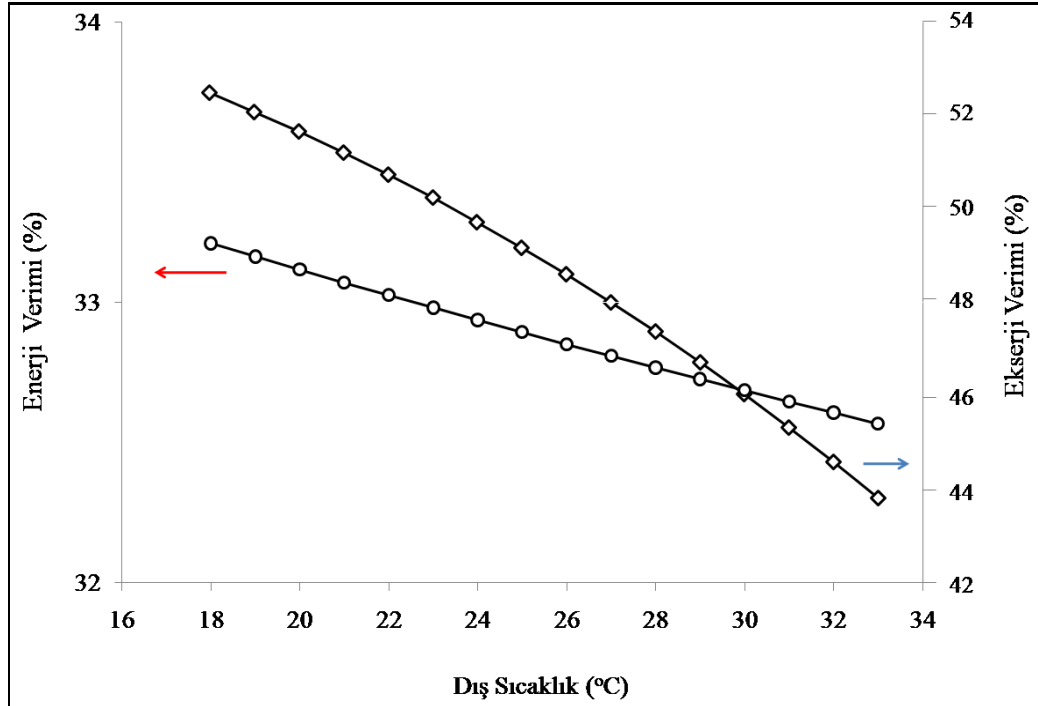
Şekil 7.7 Elektrik üretimi ve tek etkili absorpsiyonlu soğutma birleşik enerji sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi

7.3 Elektrik Üretimi (EÜ), Tek Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (TEAS) ve Sıcak Su Sağlama (SSS) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar

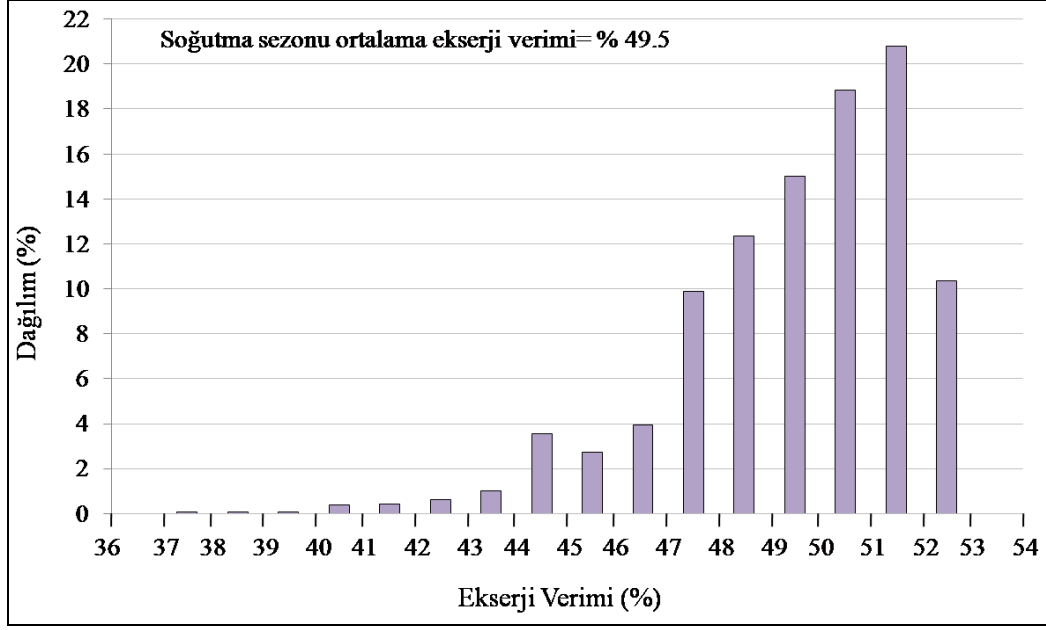
İncelemenin yapıldığı elektrik üretim sistemine tek etkili absorbsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama sisteminin eklenmesi ile oluşan birleşik enerji sistemi için parametrik analiz yapılmıştır. Birleşik sistemin enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığıyla değişimi Şekil 7.8’de verilmektedir. Bölge ısıtma dönemi dış hava sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında birleşik sistem için ekserji verimi % 37 ile % 53 arasında değişmektedir (Şekil 7.9). Birleşik sisteminin enerji verim değeri de % 32 ile % 34 arasında değişmektedir (Şekil 7.10). Ortalama enerji ve ekserji verimi sırasıyla % 33 ve % 49.5 olarak tespit edilmiştir. Dış çevre sıcaklığı parametresine bağlı olarak ekserji ve enerji verim değeri fonksiyonu Eşitlik 7.5 ve Eşitlik 7.6’da verilmektedir.

$$\varepsilon_{EÜ+TEAS+SSS} = 55.01 + 0.0963 \cdot T - 0.0132 \cdot T^2 \quad (R^2=0.96) \quad (7.5)$$

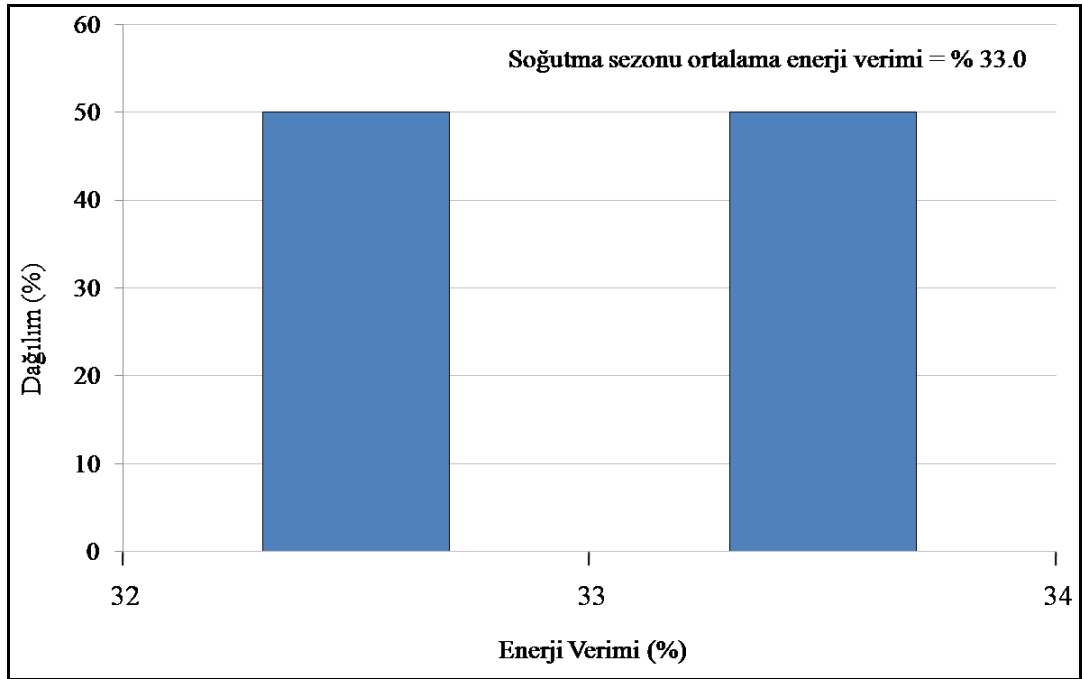
$$\eta_{EÜ+TEAS+SSS} = 34.16 - 0.058 \cdot T + 0.00031 \cdot T^2 \quad (R^2=0.97) \quad (7.6)$$



Şekil 7.8 Elektrik üretimi, tek etkili absorbsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığına bağlı değişimi



Şekil 7.9 Elektrik üretimi, tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi



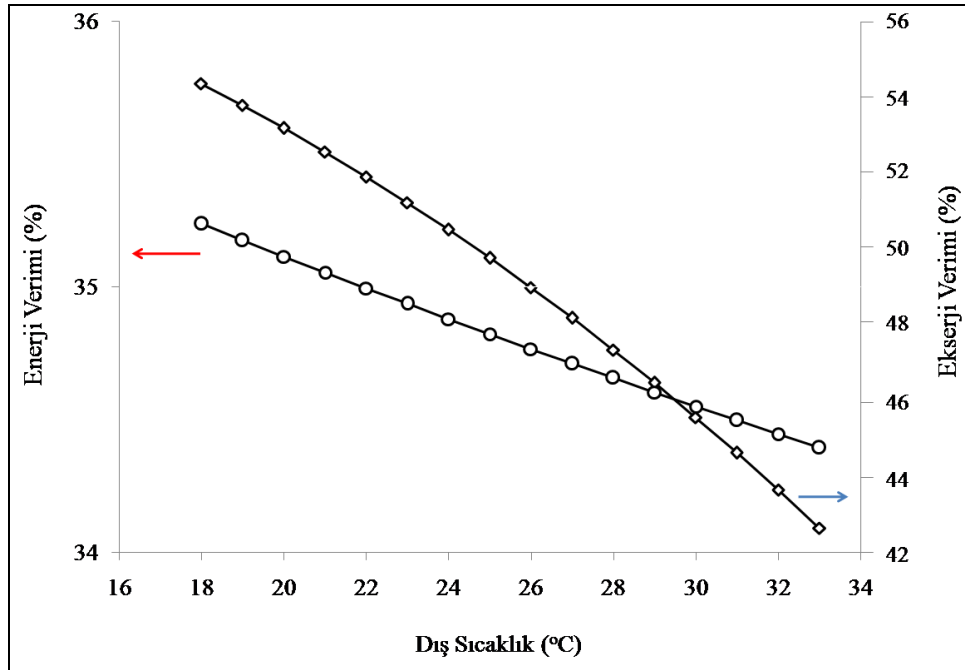
Şekil 7.10 Elektrik üretimi, tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi

7.4 Elektrik Üretimi (EÜ) ve Sıcak Su Sağlama (SSS) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar

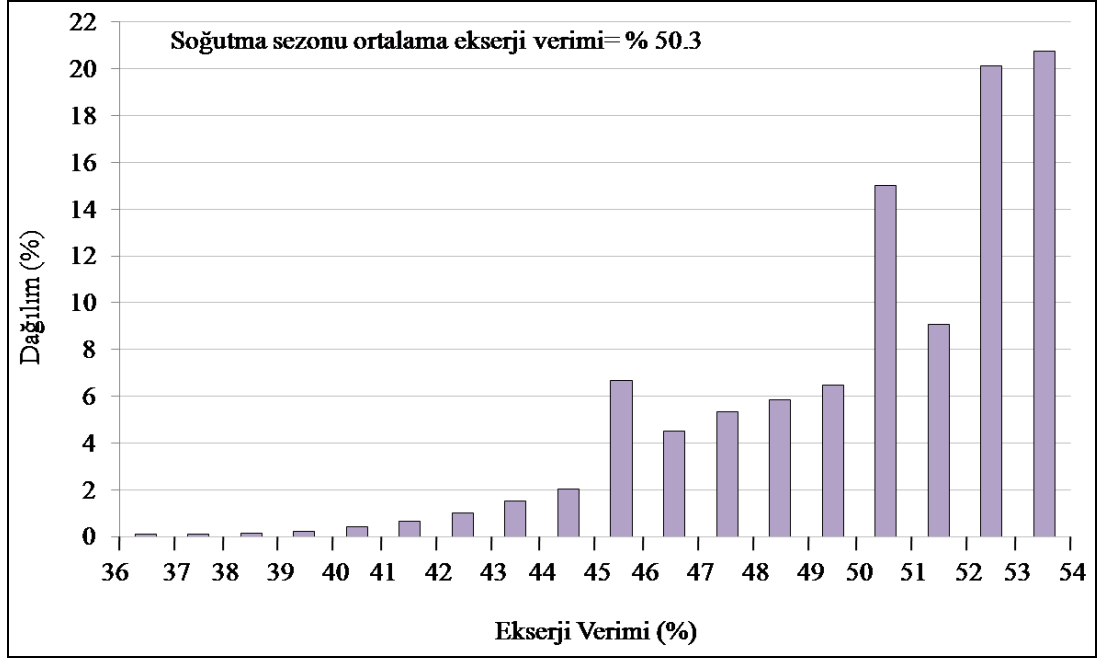
İncelemenin yapıldığı elektrik üretim sistemine sıcak su sağlama sisteminin eklenmesi ile oluşan birleşik enerji sistemi için parametrik olarak analiz yapılmıştır. Birleşik sistemin enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklık değişimi Şekil 7.11’de verilmektedir. Bölge ısıtma dönemi dış hava sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında birleşik sistem için ekserji verimi % 36 ile % 54 arasında değişmektedir (Şekil 7.12). Yıllık dış hava sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama ekserji verimi % 50.3 olarak tespit edilmiştir. Birleşik sisteminin enerji verim değeri de % 32 ile % 34 arasında değişmektedir (Şekil 7.13). Aynı şekilde yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama enerji verimi % 32.6 olarak tespit edilmiştir. Dış çevre sıcaklığı parametresine bağlı olarak ekserji ve enerji verim değeri fonksiyonu Eşitlik 7.7 ve Eşitlik 7.8’de verilmektedir.

$$\eta_{EÜ+SSS} = 36.47 - 0.0756 \cdot T + 0.00038 \cdot T^2 \quad (R^2=0.98) \quad (7.7)$$

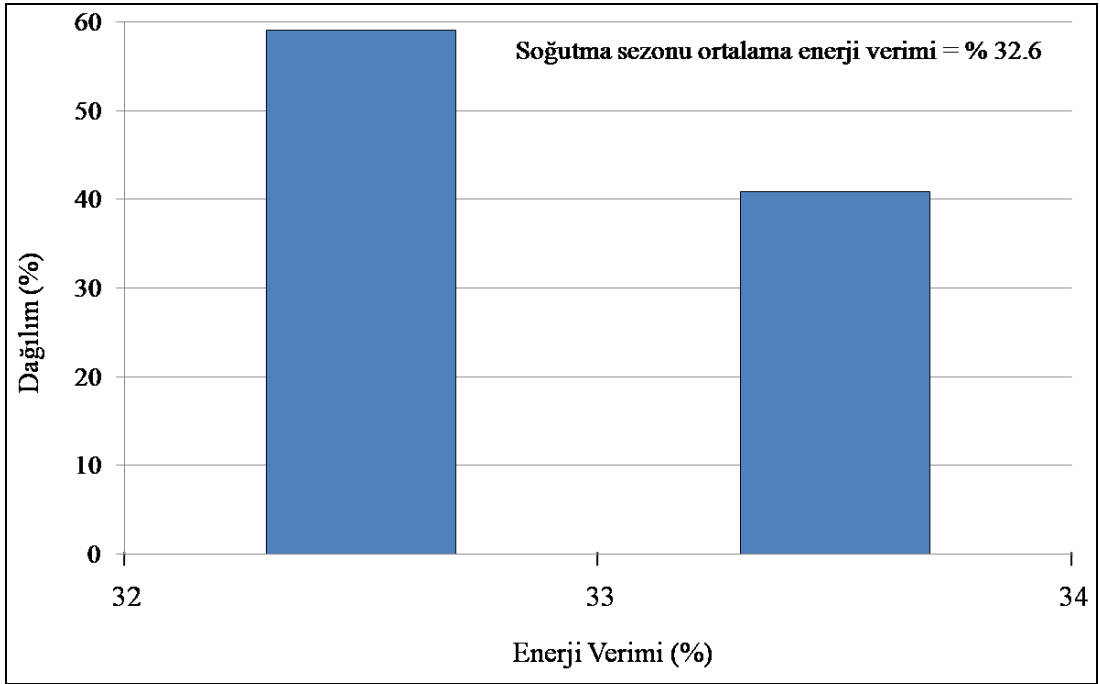
$$\varepsilon_{EÜ+SSS} = 59.06 + 0.019 \cdot T - 0.0157 \cdot T^2 \quad (R^2=0.97) \quad (7.8)$$



Şekil 7.11 Elektrik üretimi ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığına bağlı değişimi



Şekil 7.12 Elektrik üretimi ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi



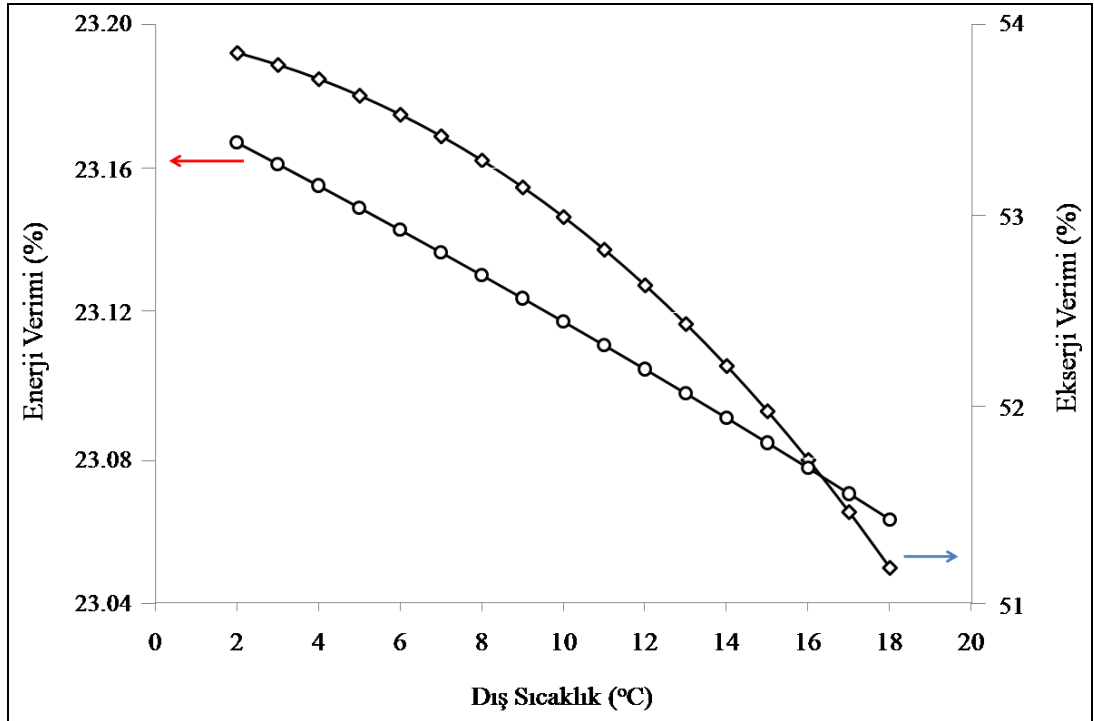
Şekil 7.13 Elektrik üretimi ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi

7.5 Elektrik Üretimi (EÜ) ve Isıtma-Sıcak Su Sağlama (ISSS) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar

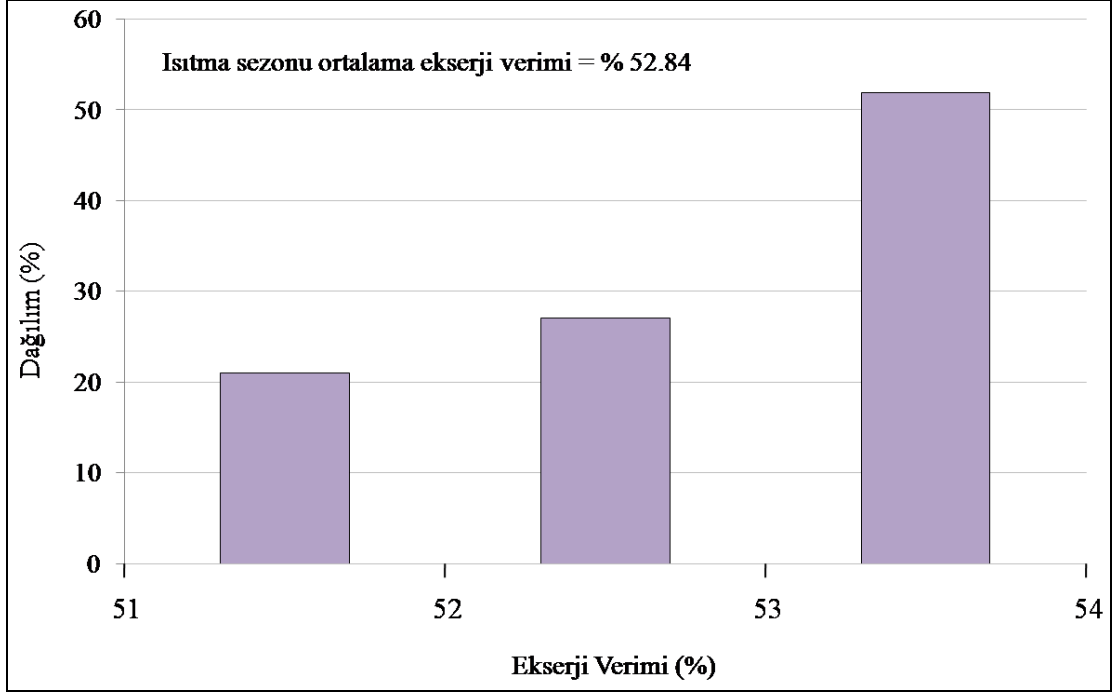
İncelemenin yapıldığı elektrik üretim sistemine ısıtma-sıcak su sağlama sisteminin eklenmesi ile oluşan birleşik enerji sistemi için parametrik olarak analiz yapılmıştır. Birleşik sistemin enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığıyla değişimi Şekil 7.13’de verilmektedir. Bölge ısıtma dönemi dış hava sıcaklık dağılımı dağılımı göz önüne alındığında birleşik sistem için ekserji verimi % 51 ile % 54 arasında değişmektedir (Şekil 7.14). Yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama ekserji ve enerji verimi sırasıyla % 52.8 ve % 23.1 olarak tespit edilmiştir. Dış çevre sıcaklığı parametresine bağlı olarak ekserji ve enerji verim değeri fonksiyonu Eşitlik 7.9 ve 7.10’da verilmektedir.

$$\eta_{EÜ+ISSS} = 23.178 - 0.00557 \cdot T - 0.000047 \cdot T^2 \quad (R^2=0.98) \quad (7.9)$$

$$\varepsilon_{EÜ+ISSS} = 53.89 - 0.0133 \cdot T - 0.0076 \cdot T^2 \quad (R^2=0.97) \quad (7.10)$$



Şekil 7.14 Elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığına bağlı değişimi



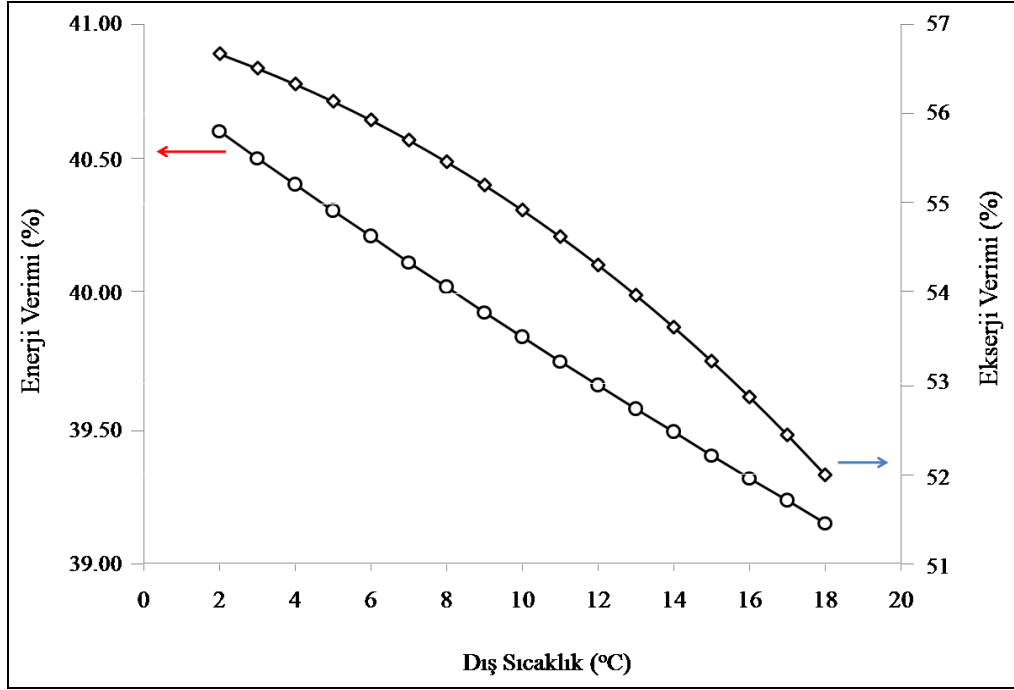
Şekil 7.15 Elektrik üretimi ve ısıtma-sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi

7.6 Elektrik Üretimi (EÜ), Isıtma-Sıcak Su Sağlama (ISSS) ve Sera Isıtması (SI) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar

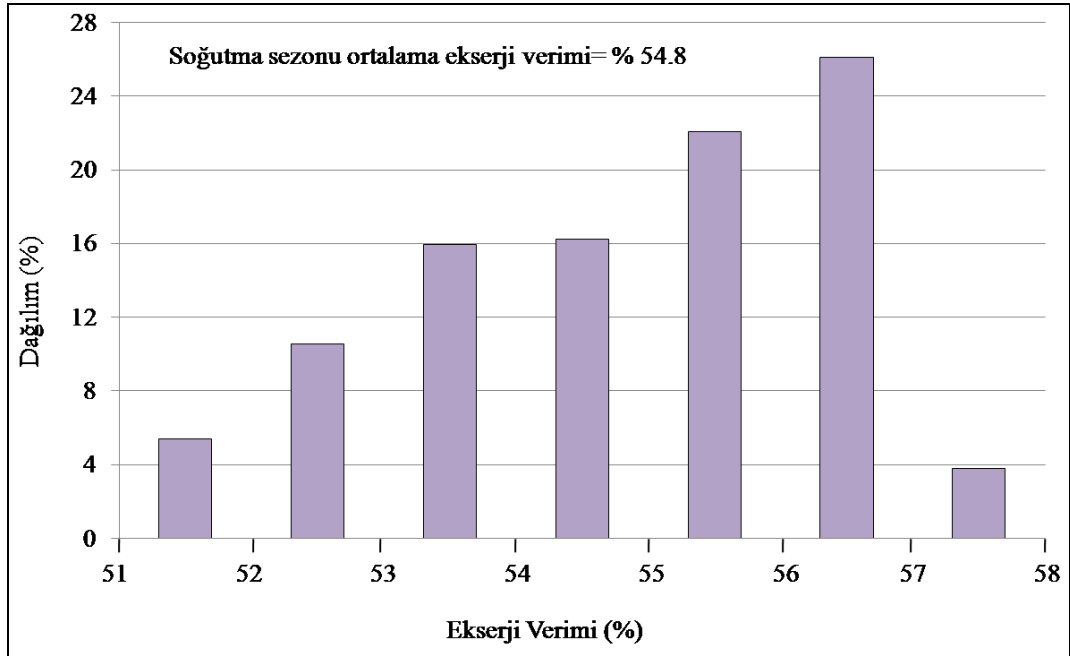
İncelemenin yapıldığı elektrik üretim sistemine ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma sisteminin eklenmesi ile oluşan birleşik enerji sistemi için parametrik analiz yapılmıştır. Birleşik sistemin enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığıyla değişimi Şekil 7.16’da verilmektedir. Bölge ısıtma dönemi dış hava sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında birleşik sistem için ekserji verimi % 51 ile % 58 arasında değişmektedir (Şekil 7.17). Yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama ekserji verimi % 50.3 olarak tespit edilmiştir. Birleşik sisteminin enerji verim değeri de % 39 ile % 42 arasında değişmektedir (Şekil 7.18). Aynı şekilde yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama enerji verimi % 39.9 olarak tespit edilmiştir. Dış çevre sıcaklığı parametresine bağlı olarak ekserji ve enerji verim değeri fonksiyonu Eşitlik 7.11 ve 7.12’de verilmektedir.

$$\varepsilon_{EÜ+ISSS+SI} = 56.89 - 0.101 \cdot T - 0.00945 \cdot T^2 \quad (R^2=0.96) \quad (7.11)$$

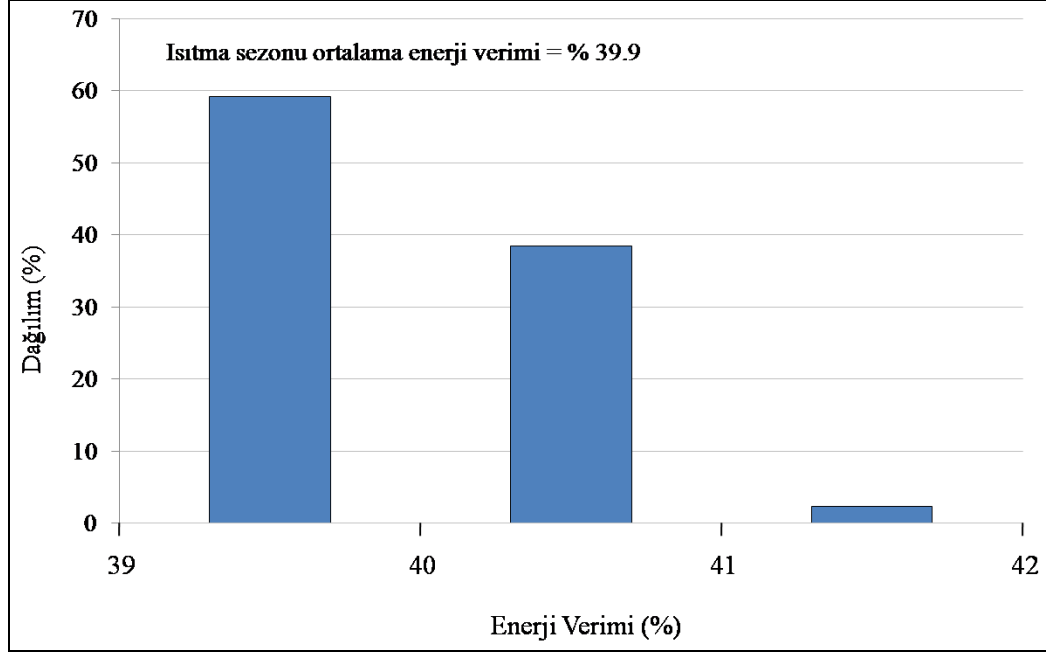
$$\eta_{EÜ+ISSS+SI} = 40.80 - 0.102 \cdot T + 0.00057 \cdot T^2 \quad (R^2=0.97) \quad (7.12)$$



Şekil 7.16 Elektrik üretimi, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığına bağlı değişimi



Şekil 7.17 Elektrik üretimi, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi



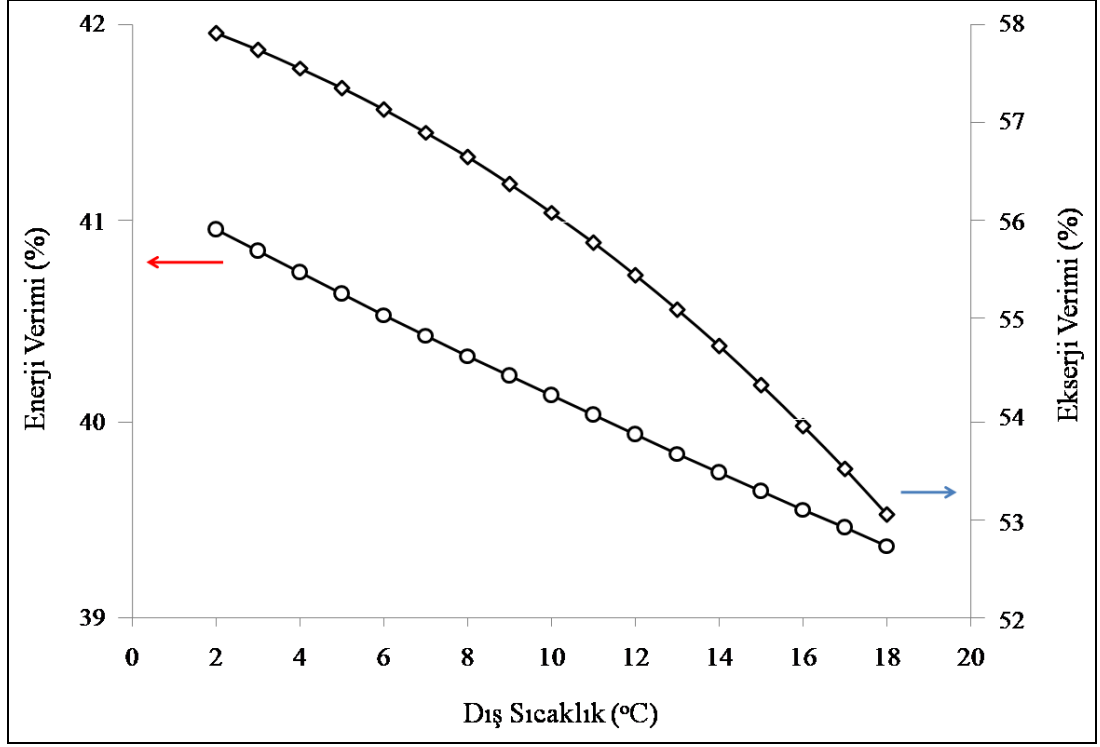
Şekil 7.18 Elektrik üretimi, ısıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için enerji veriminin yıllık bazda dağılımı

7.7 Elektrik Üretimi (EÜ) ve Sera Isıtma (SI) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar

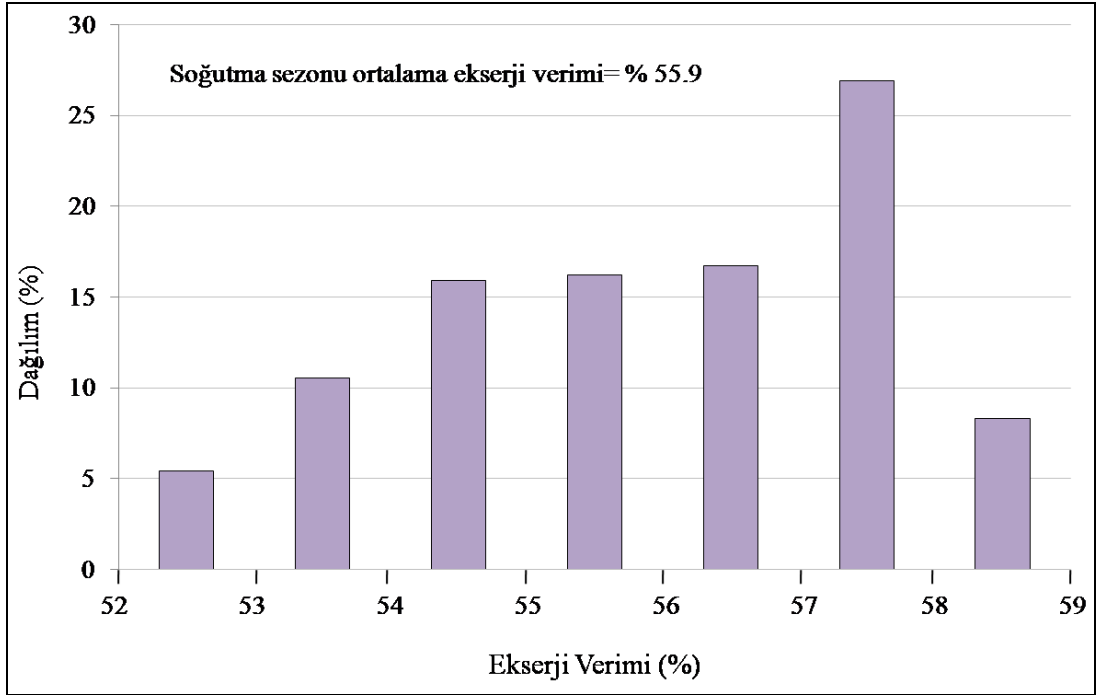
İncelemenin yapıldığı elektrik üretim sistemine sera ısıtma sisteminin eklenmesi ile oluşan birleşik enerji sistemi için parametrik analiz yapılmıştır. Birleşik sistemin enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığıyla dağılımı Şekil 7.19’da verilmektedir. Bölge ısıtma dönemi dış hava sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında birleşik sistem için ekserji verimi % 52 ile % 59 arasında değişmektedir (Şekil 7.20). Yıllık dış hava sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama ekserji verimi % 55.9 olarak tespit edilmiştir. Birleşik sisteminin enerji verim değeri de % 39 ile % 43 arasında değişmektedir (Şekil 7.21). Aynı şekilde yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama enerji verimi % 40.2 olarak tespit edilmiştir. Dış çevre sıcaklığı parametresine bağlı olarak ekserji ve enerji verim değeri fonksiyonu Eşitlik 7.13 ve Eşitlik 7.14’de verilmektedir.

$$\varepsilon_{EÜ+SI} = 58.141 - 0.1076 \cdot T - 0.0097 \cdot T^2 \quad (R^2=0.97) \quad (7.13)$$

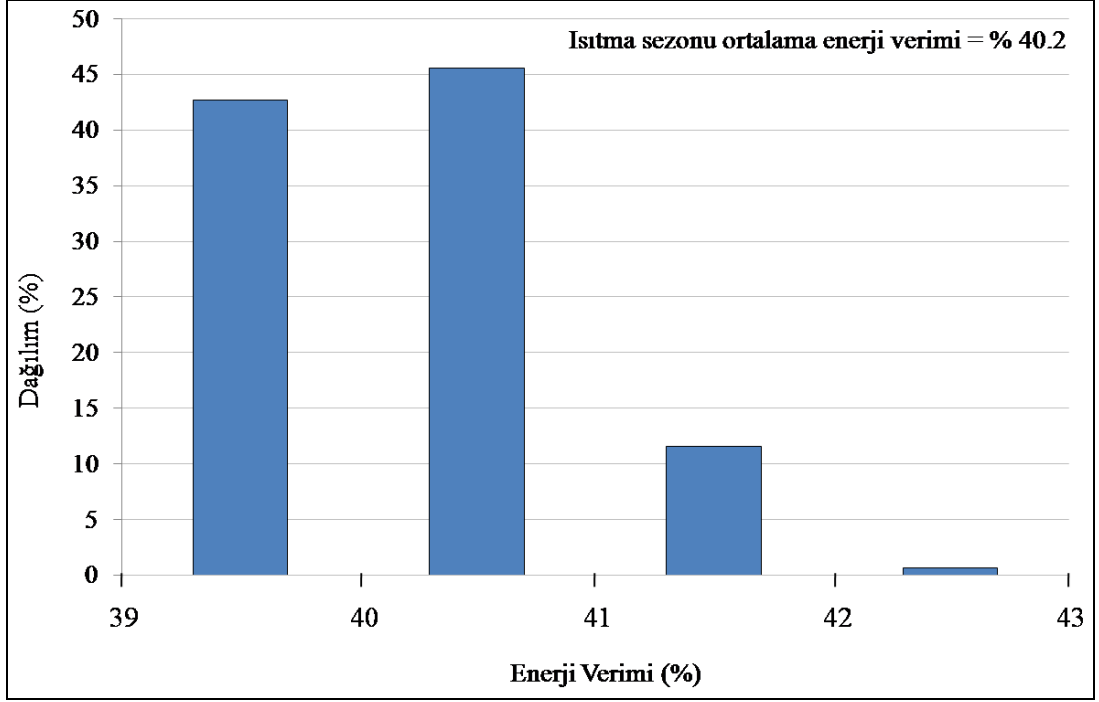
$$\eta_{EÜ+SI} = 41.181 - 0.112 \cdot T + 0.00062 \cdot T^2 \quad (R^2=0.96) \quad (7.14)$$



Şekil 7.19 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için enerji ve ekserji veriminin dış hava sıcaklığına bağlı değişimi



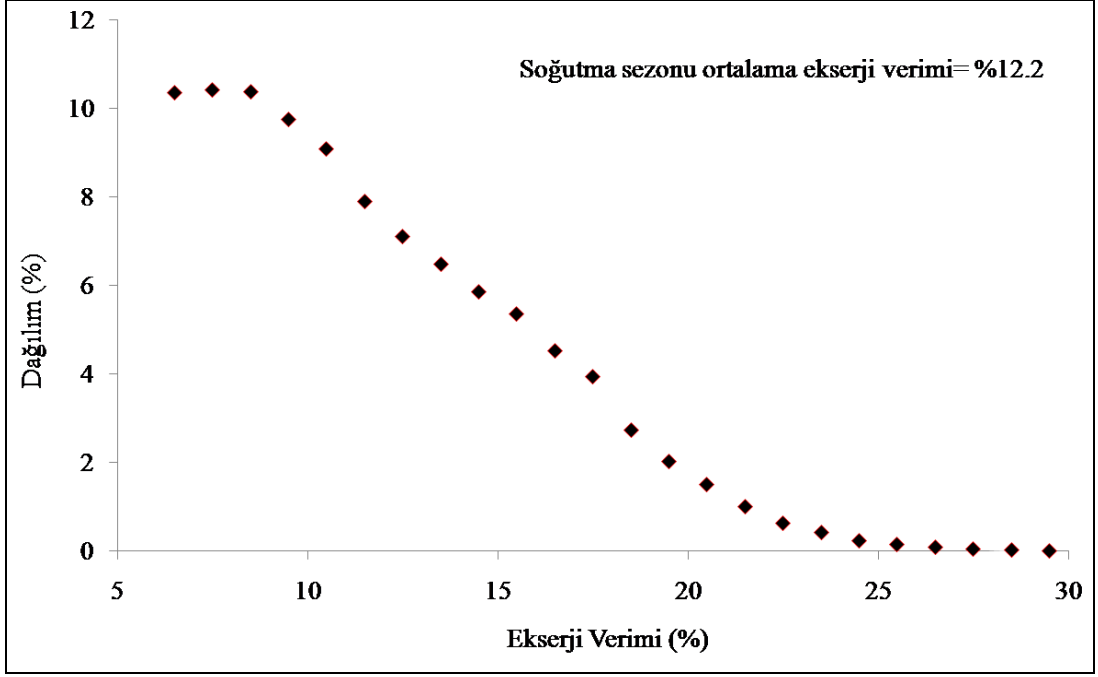
Şekil 7.20 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi



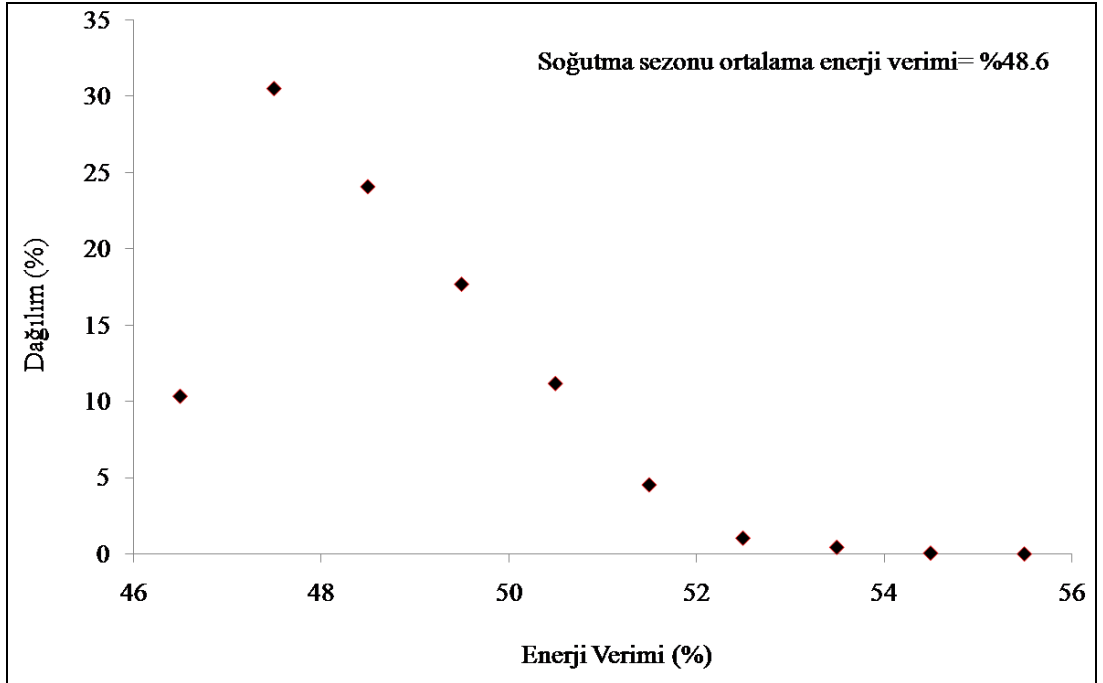
Şekil 7.21 Elektrik üretimi ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi

7.8 Tek Etkili Absorbsiyonlu Soğutma Sistemi (TEAS) İçin Sonuçlar

Tek etkili absorbsiyonlu soğutma sistemi için parametrik analiz yapılmıştır. Bölge soğutma dönemi dış hava sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında birleşik sistem için ekserji verimi % 6 ile % 30 arasında değişmektedir (Şekil 7.22). Yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama ekserji verimi % 12.2 olarak tespit edilmiştir. Birleşik sisteminin enerji verim değeri de % 46 ile % 56 arasında değişmektedir (Şekil 7.23). Aynı şekilde yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama enerji verimi % 48.6 olarak tespit edilmiştir.



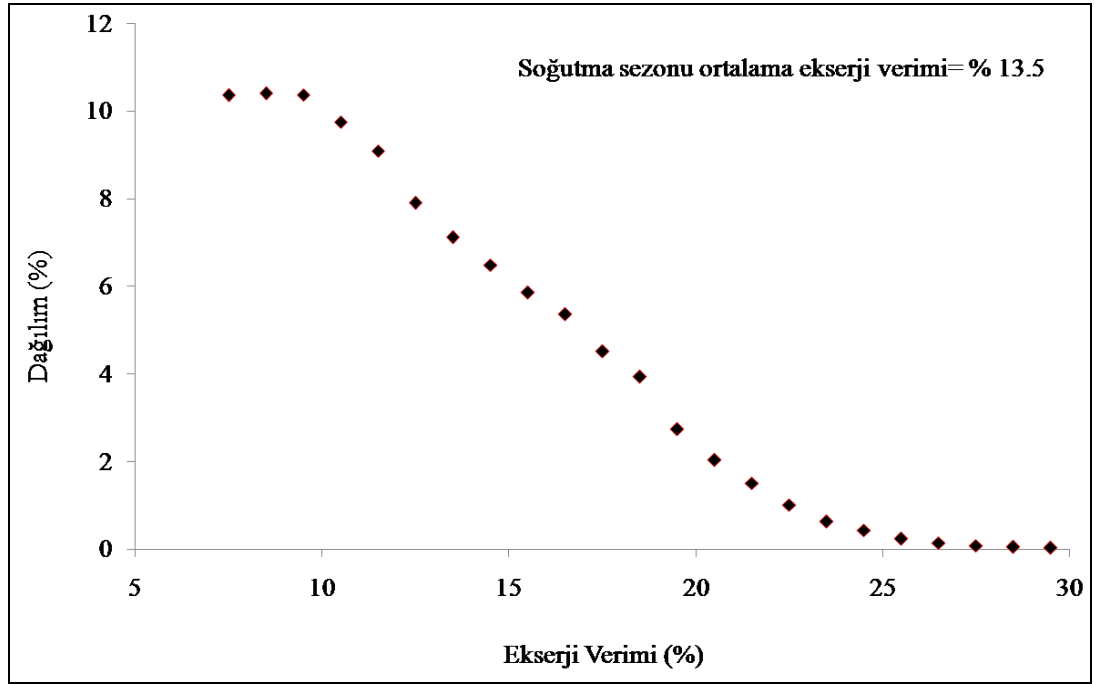
Şekil 7.22 Tek etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi



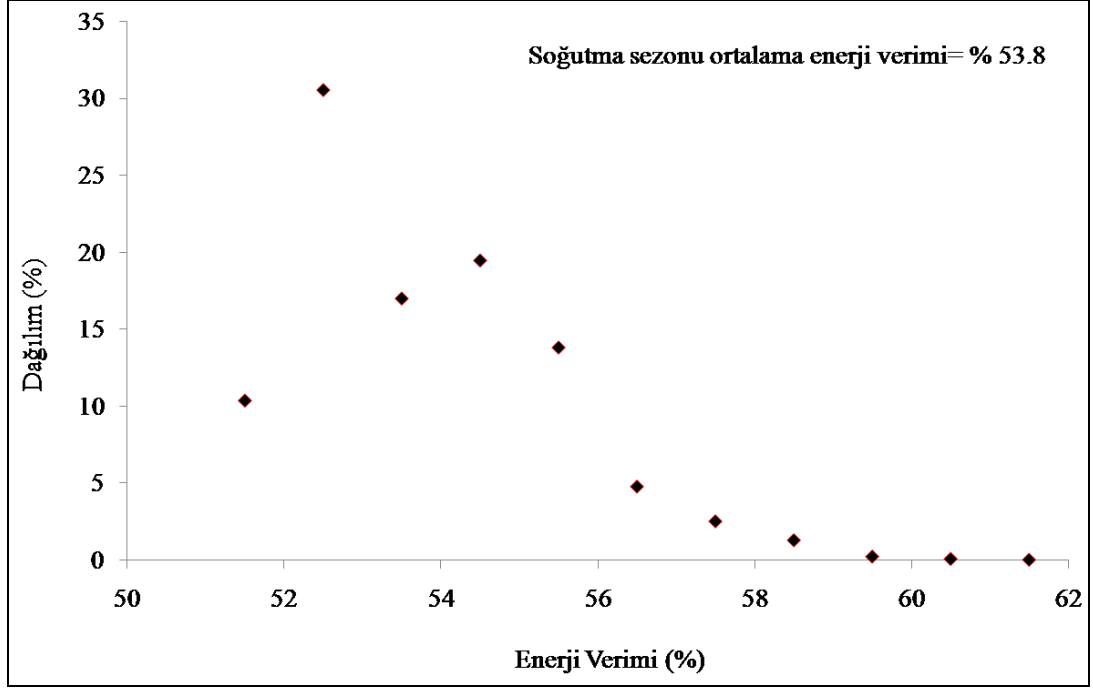
Şekil 7.23 Tek etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi

7.9 Çift Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (ÇEAS) Sistemi İçin Sonuçlar

Çift etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi için parametrik olarak analiz yapılmıştır. Bölge dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında birleşik sistem için ekserji verimi % 6 ile % 30 arasında değişmektedir (Şekil 7.24). Yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama ekserji verimi % 13.5 olarak tespit edilmiştir. Birleşik sisteminin enerji verim değeri de % 51 ile % 62 arasında değişmektedir (Şekil 7.25). Aynı şekilde yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama enerji verimi % 53.8 olarak tespit edilmiştir.



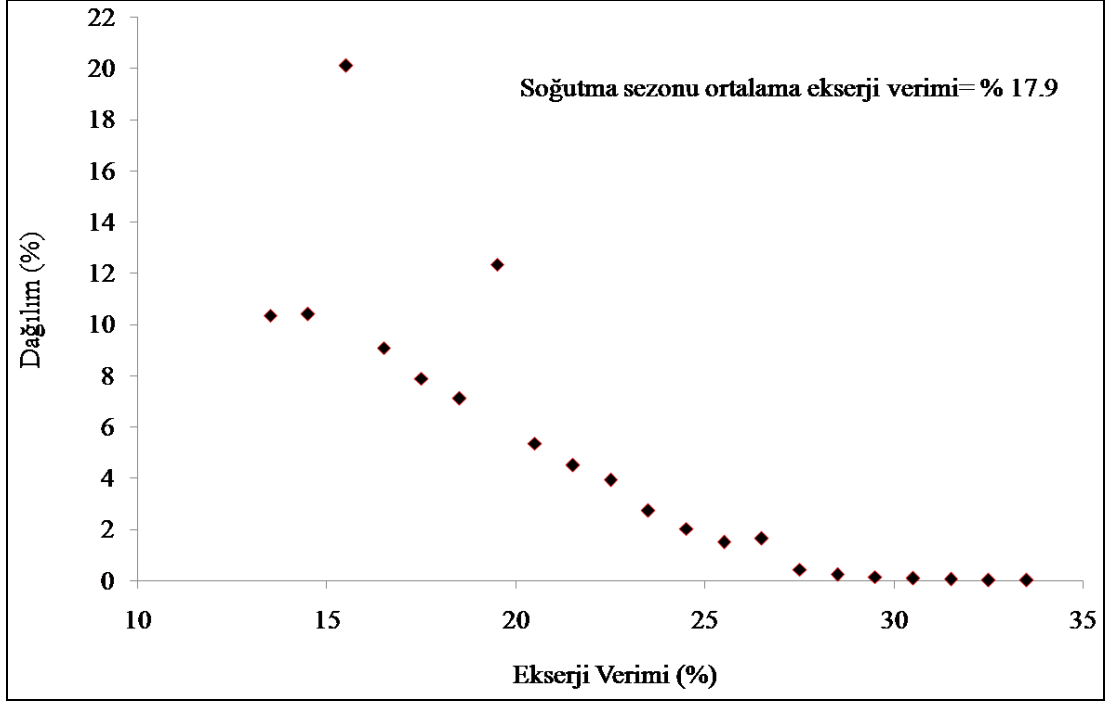
Şekil 7.24 Çift etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi



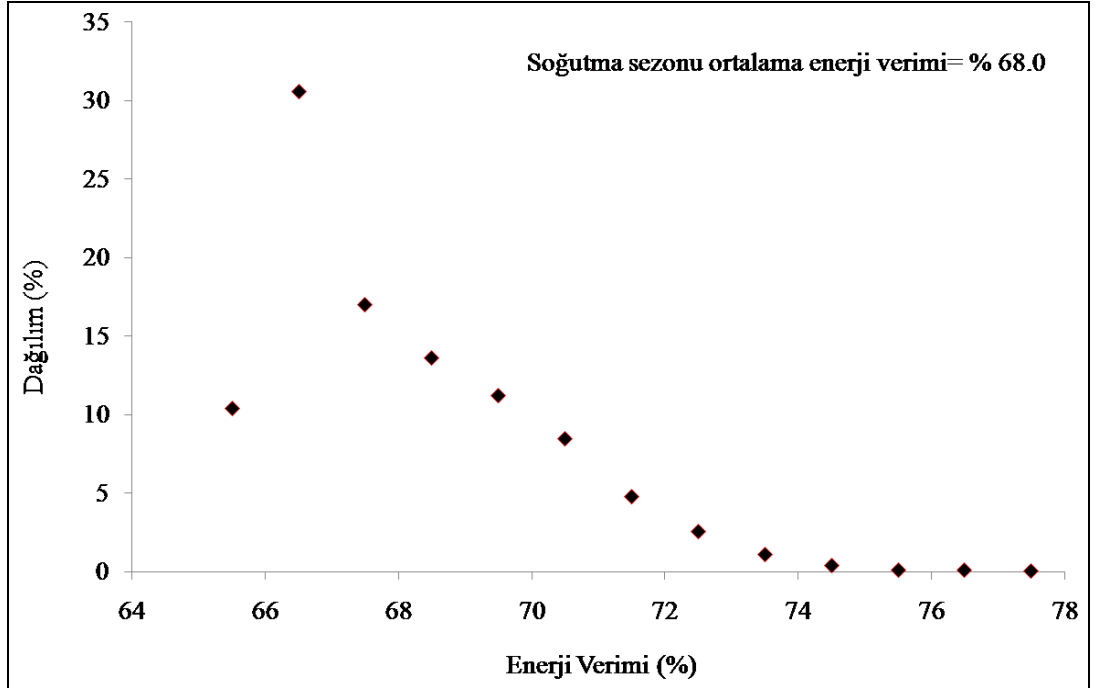
Şekil 7.25 Çift etkili absorpsiyonlu soğutma sistemi için enerji veriminin yıllık bazda dağılımı

7.10 Tek Etkili Absorpsiyonlu Soğutma (TEAS) ve Sıcak Su Sağlama (SSS) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar

Tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için parametrik olarak analiz yapılmıştır. Bölge dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında birleşik sistem için ekserji verimi % 13 ile % 34 arasında değişmektedir (Şekil 7.26). Yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama ekserji verimi % 17.9 olarak tespit edilmiştir. Birleşik sisteminin enerji verim değeri de % 65 ile % 78 arasında değişmektedir (Şekil 7.27). Aynı şekilde yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama enerji verimi % 68 olarak tespit edilmiştir.



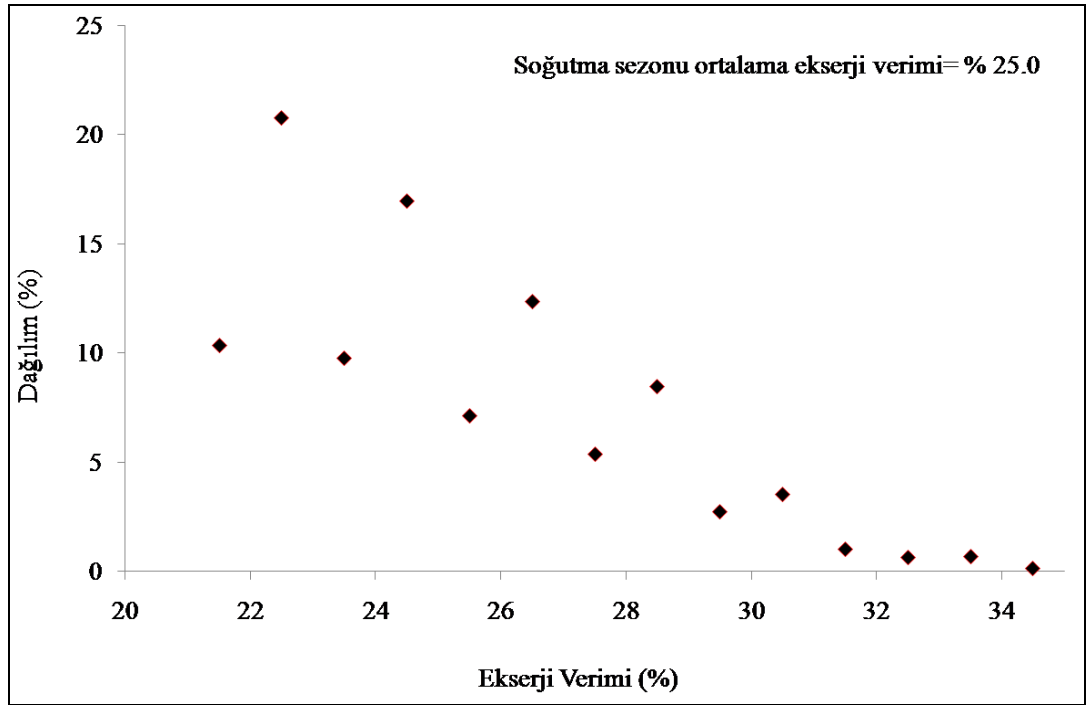
Şekil 7.26 Tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik ekserji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi



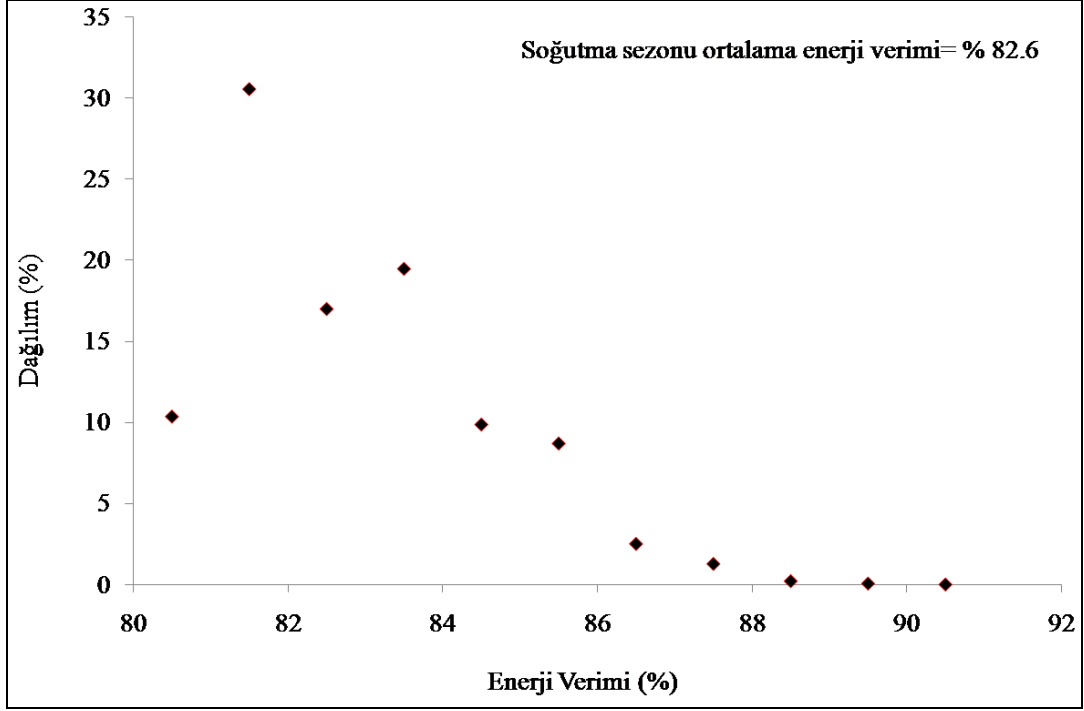
Şekil 7.27 Tek etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi

7.11 Çift Etkili Absorbsiyonlu Soğutma (ÇEAS) ve Sıcak Su Sağlama (SSS) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar

Çift etkili absorbsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi için parametrik analiz yapılmıştır. Bölge dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında birleşik sistem için ekserji verimi % 21 ile % 35 arasında değişmektedir (Şekil 7.28). Yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama ekserji verimi % 25 olarak tespit edilmiştir. Birleşik sisteminin enerji verim değeri de % 80 ile % 91 arasında değişmektedir (Şekil 7.29). Aynı şekilde yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama enerji verimi % 82.6 olarak tespit edilmiştir.



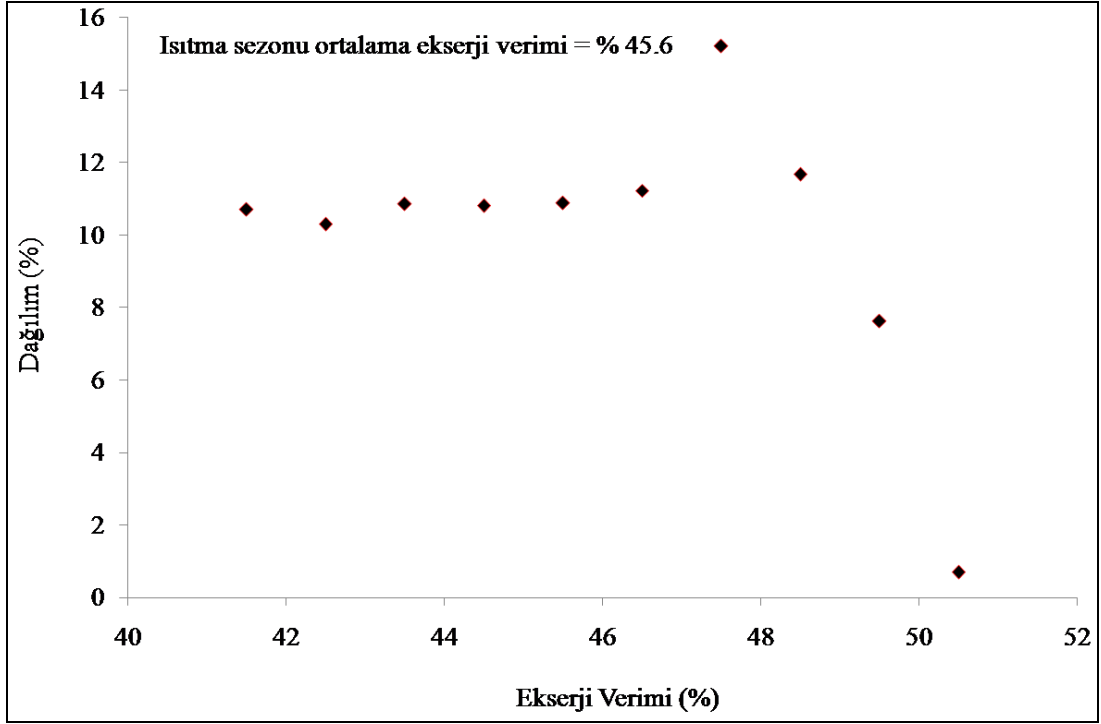
Şekil 7.28 Çift etkili absorbsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik ekserji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi



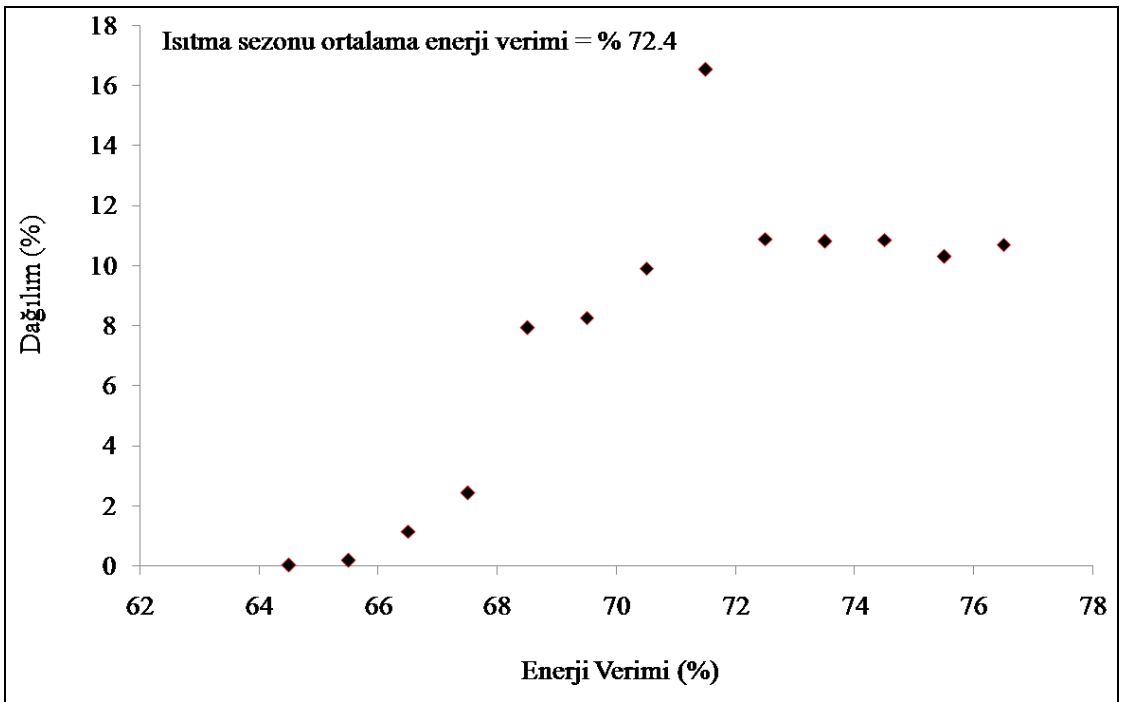
Şekil 7.29 Çift etkili absorpsiyonlu soğutma ve sıcak su sağlama birleşik ekserji sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi

7.12 Isıtma-Sıcak Su Sağlama (ISSS) Enerji Sistemi İçin Sonuçlar

Isıtma-sıcak su sağlama enerji sistemi için parametrik analiz yapılmıştır. Bölge dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında birleşik sistem için ekserji verimi % 41 ile % 51 arasında değişmektedir (Şekil 7.30). Yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama ekserji verimi % 45.6 olarak tespit edilmiştir. Birleşik sisteminin enerji verim değeri de % 64 ile % 77 arasında değişmektedir (Şekil 7.31). Aynı şekilde yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama enerji verimi % 72.4 olarak tespit edilmiştir.



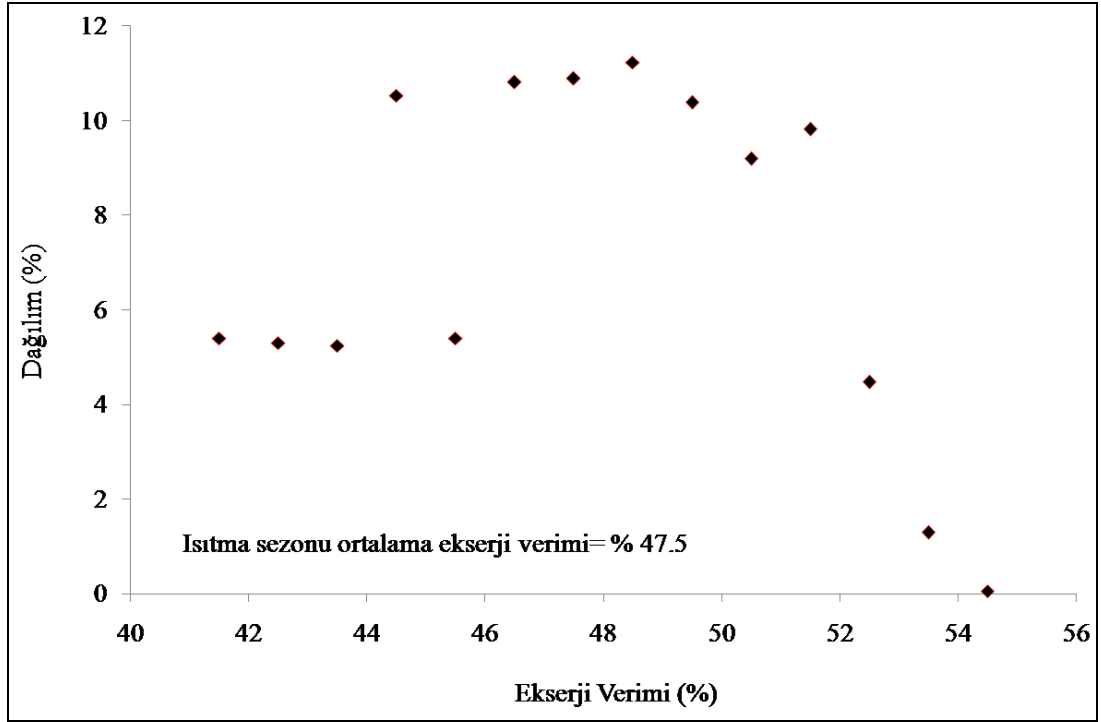
Şekil 7.30 Isıtma-sıcak su sağlama enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi



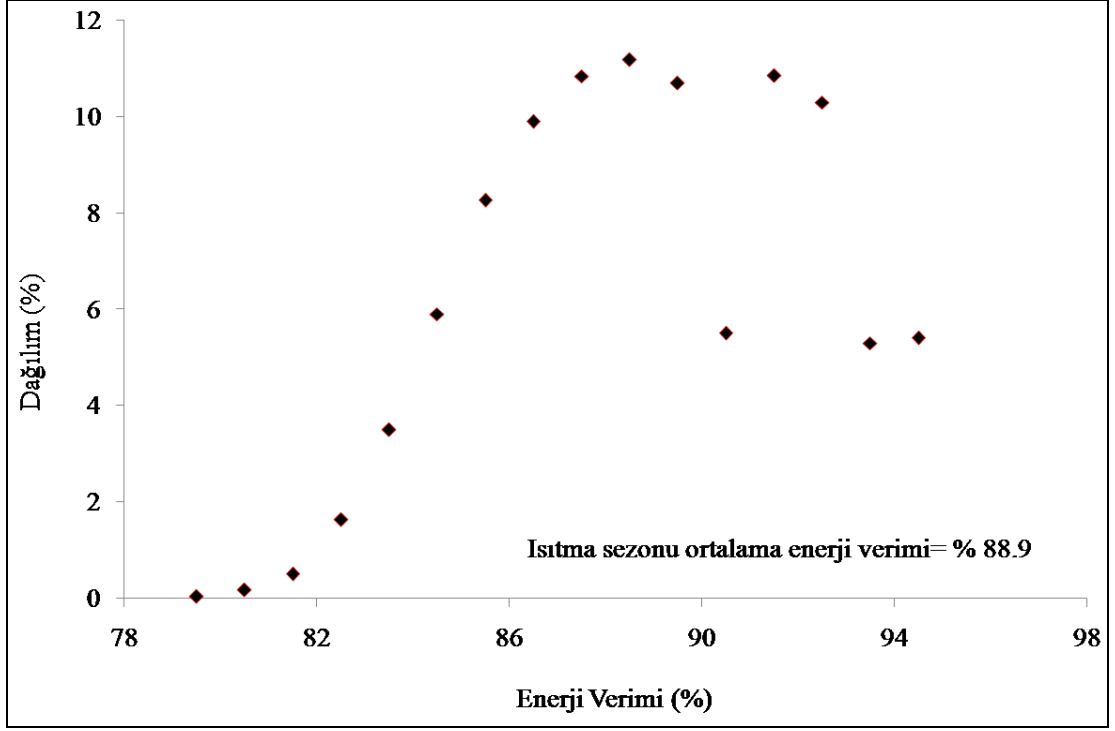
Şekil 7.31 Isıtma-sıcak su sağlama enerji sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi

7.13 Isıtma-Sıcak Su Sağlama (ISSS) ve Sera Isıtma (SI) Birleşik Enerji Sistemi İçin Sonuçlar

Isıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için parametrik analiz yapılmıştır. Bölge dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında birleşik sistem için ekserji verimi % 41 ile % 55 arasında değişmektedir (Şekil 7.32). Yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama ekserji verimi % 47.5 olarak tespit edilmiştir. Birleşik sisteminin enerji verim değeri de % 79 ile % 95 arasında değişmektedir (Şekil 7.33). Aynı şekilde yıllık dış sıcaklık dağılımı göz önüne alındığında ortalama enerji verimi % 88.9 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 7.32 Isıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için ekserji veriminin yıllık bazda değişimi

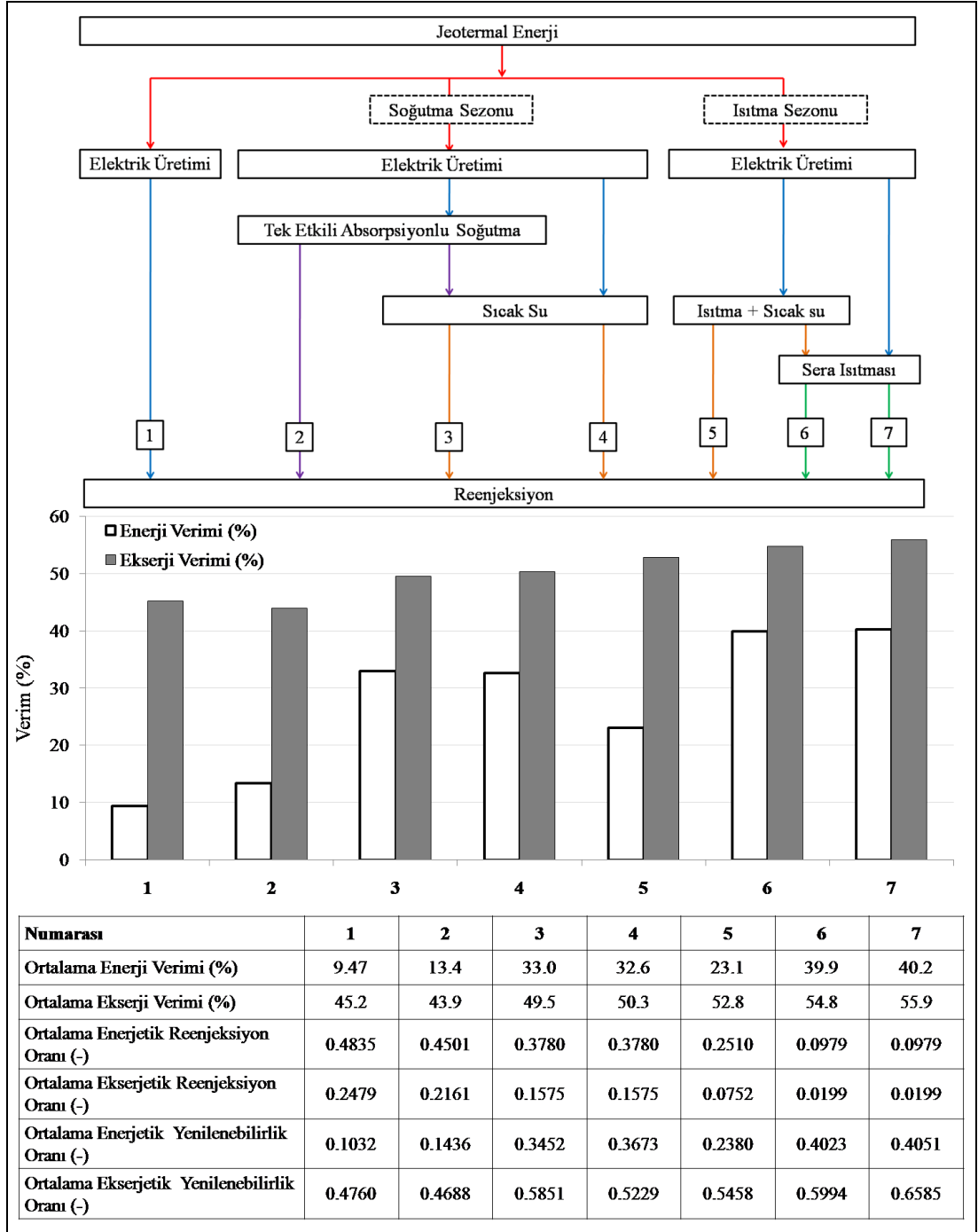


Şekil 7.33 Isıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sistemi için enerji veriminin yıllık bazda değişimi

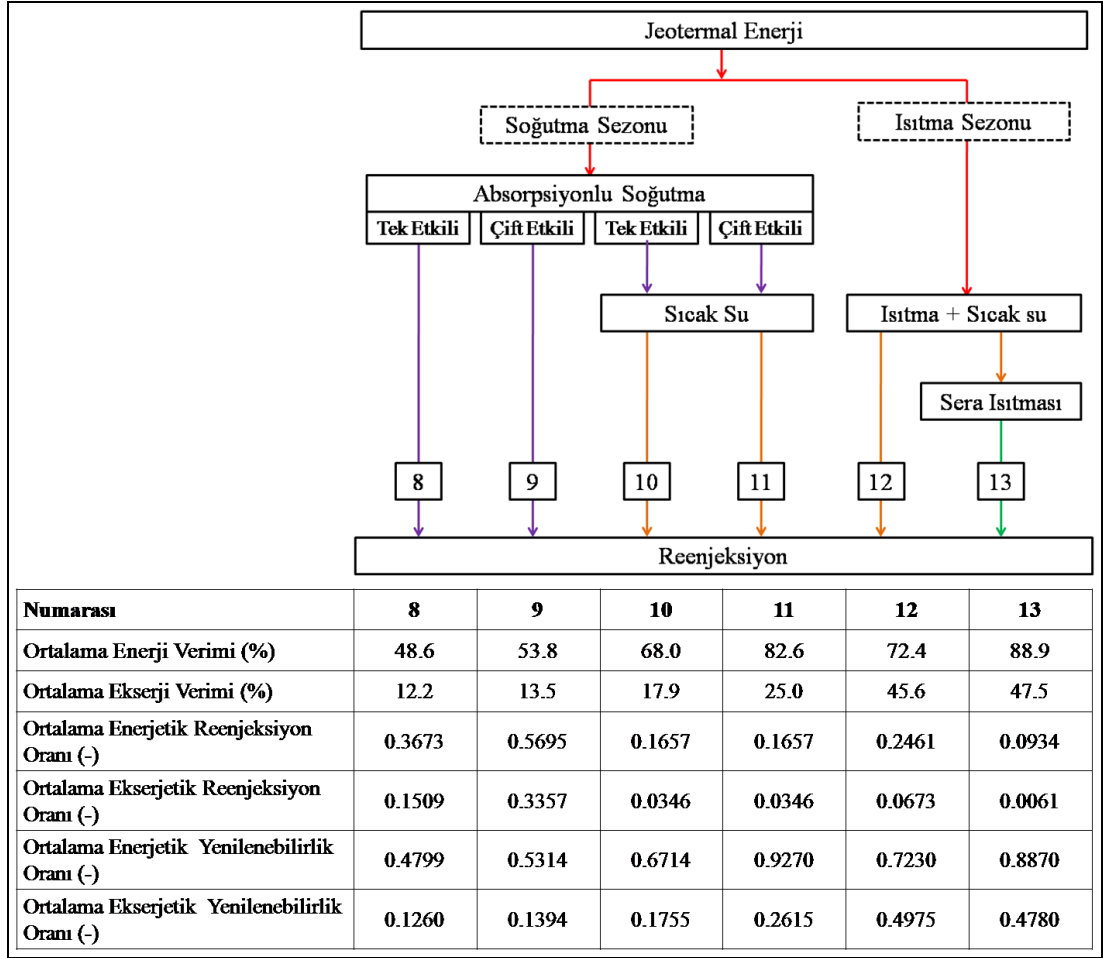
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1 Sonuçlar

Jeotermal yenilenebilir enerji kaynağının kullanıldığı 13 farklı kombinasyon ısıtma ve soğutma sezonlarında ayrı ayrı olmak üzere detaylı bir biçimde incelenerek enerjetik ve ekserjetik analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda belirtilen sistemler için iş akış şemasını, enerji verimlerini, ekserji verimlerini, enerjetik yenilenebilirlik oranlarını, ekserjetik yenilenebilirlik oranlarını, enerjetik reenjeksiyon oranlarını ve ekserjetik reenjeksiyon oranlarını ortaya koyan grafikler oluşturulmuştur. Bu grafikler Şekil 8.1 ve Şekil 8.2’de özet şekilde sunulmaktadır. Elektrik üretimine entegre edilmiş birleşik sistemler içinde en yüksek enerji ve ekserji verimlilik değerine Elektrik Üretimi + Sera Isıtma birleşik sisteminde ulaşılmaktadır. Elektrik üretimiyle birleşik sistemler içinde hiçbir kombinasyonda enerji verimi ekserji veriminin üstüne çıkamamıştır. Elektrik üretimiyle entegre edilmiş sistemler için ortalama ekserji verimleri en düşük % 45.2, en yüksek % 55.9 değerine ulaşmaktadır. Enerji verimi için bu değerler % 9.5 ile % 55.9 arasında değişmektedir. Enerjetik ve ekserjetik reenjeksiyon oranları bağlamında elektrik üretimiyle birleşik sistemler içinde en iyi sistemler, Elektrik üretimi+Isıtma-sıcak su sağlama+Sera ısıtma ve Elektrik üretimi+ Sera ısıtma birleşik enerji sistemidir. Bu sistemler için sırasıyla enerjetik ve ekserjetik reenjeksiyon oranları 0.0979 ve 0.0199’dur. Bu iki sistemde de yer altına gönderilen ekserji miktarı giren toplam ekserji değerinin % 2’lerine kadar azaltılabilmektedir. Bu değer jeotermal sistemler için oldukça iyi bir düzeydedir. Elektrik üretimi olmaksızın birleşik enerji sistemleri değerlendirildiğinde ekserji verim değerlerinde oldukça önemli bir miktarda azalmanın olduğu görülmektedir. Elektrik üretimiyle birleşik sistemlerin dışında ekserji verimleri hiçbir surette enerji verimlerinin üzerine çıkamamaktadır. Elektrik üretimi, birleşik sistem ekserjetik verimlerinin yukarı çekilmesinde oldukça pozitif bir katkı sağlamaktadır.



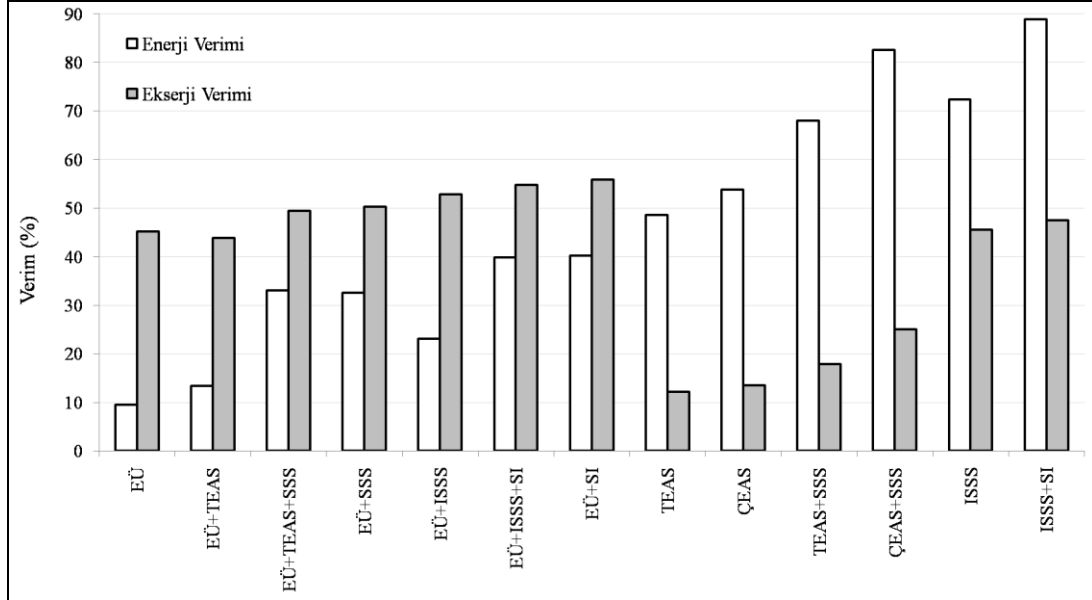
Şekil 8.1 Elektrik üretimiyle birleşik sistem iş akış şeması ve altı parametre



Şekil 8.2 Elektrik üretimi hariç birleşik sistem iş akış şeması ve altı parametre

Elektrik üretimi entegre edilmemiş birleşik enerji sistemlerinde en yüksek enerji ve ekserji verim değerine Isıtma-sıcak su sağlama ve sera ısıtma birleşik enerji sisteminde ulaşılmaktadır. Ulaşılan bu değerler enerji ve ekserji verimi için sırasıyla % 88.9 ve % 47.5'dir. Elektrik üretimi yoksun birleşik enerji sistemlerinde enerji ve ekserji verimleri arasında % 35 ile % 40 arasında değişen bir fark oluşmaktadır. Enerji ve ekserji verimlerindeki değişimin daha açık şekilde görülebilmesi için Şekil 8.3'teki grafik oluşturulmuştur. Bu grafik sayesinde kombinasyonların kendi aralarındaki enerji-ekserji verim dağılımları kolayca görülebilmektedir. Isıtma dönemi için en yüksek ve düşük enerji verimi değerine sırasıyla Isıtma-Sıcak su sağlama+Sera ısıtma birleşik enerji sistemini ve Elektrik üretimi enerji sisteminde ulaşılmaktadır. Isıtma dönemi için en yüksek ve düşük ekserji verimi değerine

sırasıyla Elektrik üretimi +Sera ısıtma birleşik enerji sistemi ve Isıtma+Sıcak su sağlama birleşik enerji sisteminde ulaşılmaktadır.



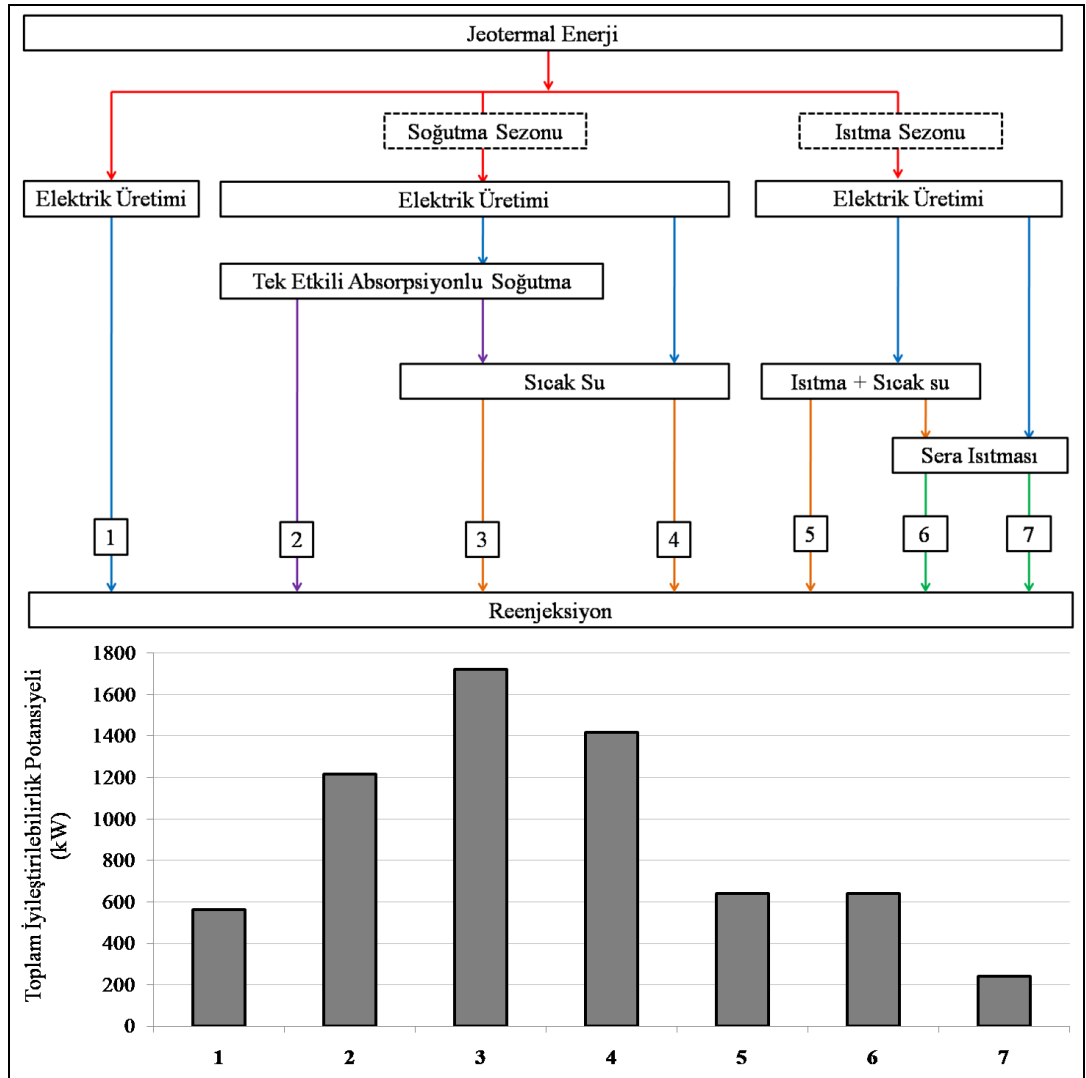
Şekil 8.3 Birleşik enerji sistemleri için dış hava sıcaklık dağılımına bağlı ortalama ekserji verimi değerleri

Soğutma dönemi için en yüksek ve en düşük enerji verimi değerine sırasıyla Çift etkili absorpsiyonlu soğutma+Sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi ve Elektrik üretimi sisteminde ulaşılmaktadır. Soğutma dönemi için en yüksek ve düşük ekserji verimi değerine sırasıyla Elektrik üretimi+Sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi ve Tek etkili absorpsiyonlu soğutma sisteminde ulaşılmaktadır.

Elektrik üretim sistemi otomatik kontrol ünitesinde kaydedilen değerler kullanılarak dış sıcaklık değerlerine bağlı olarak sistemin enerjetik ve ekserjetik verim değerleri belirlenmiştir. Bu aşama sonrasında meteorolojiden alınan son 35 yıllık saatlik dış hava sıcaklık verileri kullanılarak birleşik enerji sistemleri için ısıtma veya soğutma dönemi boyunca ortalama enerji ve ekserji verimleri verileri hesaplanmıştır. Bu veriler, Şekil 8.3’de grafik üzerinde verilmiştir. Ortalama sistem verim değerleri için tüm sezonun ortalaması alınarak bu değerler hesaplanmıştır. Tüm sistemler için ekserji verimleri % 10’lar ile % 60’lar arasında değişim

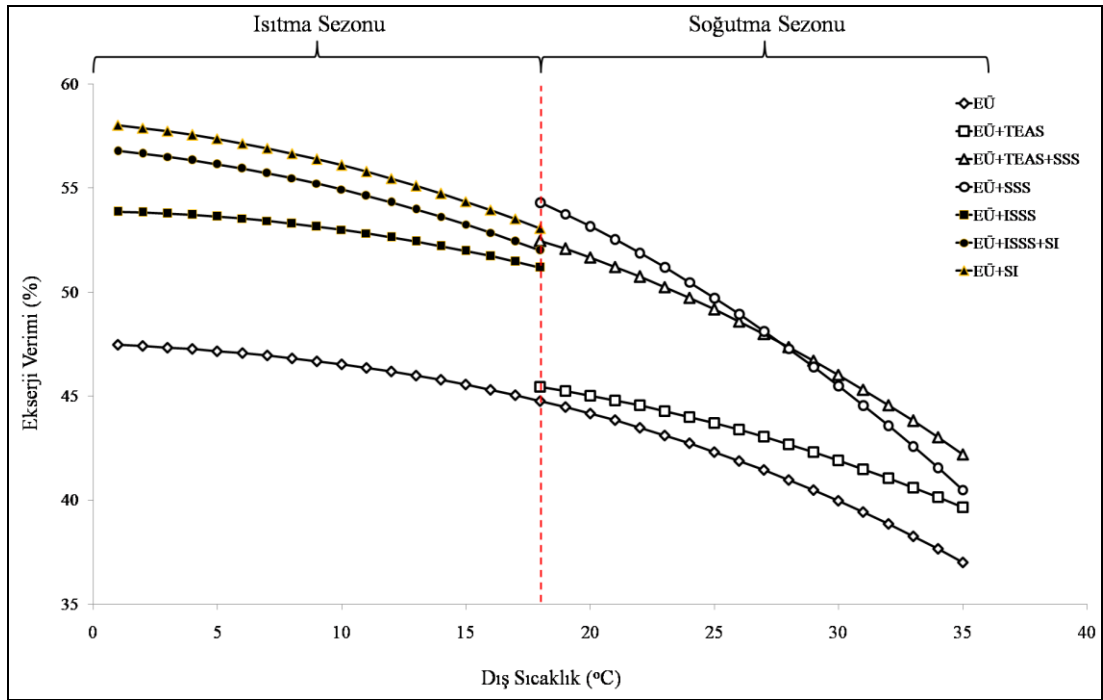
göstermektedir. Enerji verim değerleriyse % 8'ler ile % 88'ler arasında değişmektedir.

Analiz ve bulgular bölümünde her bir enerji sistemi ve elemanları için iyileştirilebilirlik potansiyeli hesaplanmıştır. İncelenen elektrik üretimiyle birleşik sistemler için toplam iyileştirilebilirlik potansiyeli Şekil 8.4'de verilmektedir. Elektrik üretimiyle birleşik sistemler için en yüksek iyileştirilebilirlik potansiyeli Elektrik üretimi + Tek etkili absorpsiyonlu soğutma + Sıcak su sağlama birleşik enerji sisteminde bulunmaktadır. Bu değer 1.7 MW değerine ulaşabilmektedir.



Şekil 8.4 Elektrik üretimiyle birleşik sistemler için iyileştirilebilirlik potansiyeli

Bulgular bölümünde açıklanarak formülleri ile verilen referans çevre sıcaklığıyla birleşik enerji sistemlerinin ekserji verimlerindeki değişim Şekil 8.6'da grafiksel olarak verilmektedir. Isıtma ve soğutma dönemi olmak üzere iki ayrı kısım yine aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu grafik sayesinde ekserji verimlerindeki dağılım kolayca görülebilmektedir. Örneğin Elektrik + Sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi ile Elektrik üretimi + Tek etkili soğutma + sıcak su sağlama birleşik enerji sistemi 27°C referans çevre sıcaklığında aynı ekserji verimine ulaşabilmektedir. Grafikler incelendiğinde tüm birleşik enerji sistemlerinin ekserji verimlerinin dış referans çevre sıcaklığının artması ile azaldığı görülmektedir. Elektrik üretimine yapılan her bir sistem bağlantısı toplam sistemin ekserji verimini yukarı çekmektedir. Bu grafikler sayesinde, hangi sistemin hangi sisteme hangi sıcaklık sonrasında ekserjetik verim açısından üstünlük sağlayabileceği de görülebilmektedir.



Şekil 8.5 Elektrik üretimiyle birleşik enerji sistemler için ekserji veriminin referans çevre sıcaklığıyla değişimi

8.2 Öneriler

Parametrik inceleme sonucunda jeotermal akışkanın kullanımı sırasında çoğunlukla en yüksek kayıpların reenjeksiyon bölümünde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Jeotermal enerji kaynaklı enerji sistemlerinin enerjetik ve ekserjetik verimliliğinin artırılması için kullanılan jeotermal akışkanın sıcaklığının olabildiğince düşük seviyelere getirilmesi gerektiği gerçeği ortaya konulmuştur. Reenjeksiyon sıcaklığının olabildiğince düşük seviyelere gelmesi için bu çalışmada değinilmeyen kurutma, biogaz reaktörlerinin ısıtılması ve düşük sıcaklık kaynaklı sudan suya ısı pompası kullanımı gibi birçok alternatifde ekonomik bağlamda değerlendirilebilir. Elektrik üretimine uygun bir jeotermal kaynağın elektrik üretimi olmaksızın kullanılması, enerji verimlerinde artma sağlamış gibi görünse de ekserji verimlerinde kayda değer düşüşler ortaya koymaktadır. Bu nedenle kaynağın sıcaklık değerinin uygun olmasına bağlı olarak öncelikle elektrik üretimi ve sonrasında birleşik diğer sistemlerin entegre edilmesi düşünülmelidir. Elektrik üretim sisteminde titanyum kaplı ısı eşanjörlerinin kullanımıyla eşanjörde silikat oluşumunun önüne geçilebilir. Bu sayede sistemin belirli sürelerde temizleme işlemi için devreden çıkmasının önüne geçilmesini sağlar. Bu konuda gerekli kararın verilmesi için ekonomik yönde gerekli değerlendirmelerde yapılması gerekmektedir. İncelenen jeotermal elektrik üretimi sisteminin kurumu aşamasında işletmenin karşılaştığı problemler göz önüne alındığında, jeotermal enerjiden elektrik üretilen sistemler tasarlanırken üç ana faktöre öncelikli olarak büyük önem gösterilmesi gereklidir. Bunlar sırasıyla: a) Elektriğin verileceği elektrik dağıtım hattının detaylı simülasyonu ve analizi. Bu analiz sonrasında gerekli tedbirlerin ve yatırımların öncelikli olarak belirlenmesi sağlanacaktır; b) Jeotermal akışkanın kimyasal analizi. Bu analiz sonrasında oluşabilecek kabuklaşma problemlerinin nasıl çözüleceği sistem kurulmadan önce belirlenmelidir. Sistemin işletilmesi sürecinde bu tür çalışmalar hem maliyet hem de sistem ekipmanları açısından büyük zararlara sebep olabilmektedir, c) Jeotermal akışkan sıcaklığına bağlı olarak elektrik üretim sisteminin enerjetik ve ekserjetik bakımdan optimum şekilde tasarlanması ve işletilmesi şeklinde önerilebilir.

İncelenen sistem için ekserjetik sistem verimliliği bağlamında değerlendirdiğinde kiş döneminde elektrik üretimi ve sera ısıtması birleşik sistemi daha iyi bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Bölgede domates yetiştiriciliğinin ekonomik açıdan önemli bir faaliyet olması nedeni ile domates yetiştiriciliği ve sonrasında kurutma yapılarak yurt dışına ihraç edilmesi oldukça iyi bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

9. KAYNAKLAR

- [1] Hepbasli, A., Ozgener L., "Development of geothermal energy utilization in Turkey: a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **8 (5)**, (2004), 433.
- [2] Akpınara, A., Kömürcü, M. İ., Önsoy, H., Kaygusuz, K., "Status of geothermal energy amongst Turkey's energy sources", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **12 (4)**, (2007), 1148.
- [3] Serpen, U., Aksoy, N., Öngür, T., "Geothermal Industry's 2009 Present Status in Turkey", Proceedings of TMMOB 2nd Geothermal Congress of Turkey, (2009-b), p.55.
- [4] Serpen, U., Aksoy, N., Öngür, T., 2010 Present status of geothermal energy in Turkey, Thirty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, (2010).
- [5] Serpen, U., Aksoy, N., Öngür, T., Korkmaz, E.D., Geothermal Energy in Turkey: 2008 Update, *Geothermics*, **38 (2)**, (2009), 227.
- [6] Fridleifsson, I.B., "Status of geothermal energy amongst the world's energy sources", *Geothermics*, **32 (4-6)**, (2003), 379.
- [7] Hepbasli, A., Canakci, C., "Geothermal district heating applications in Turkey: a case study of Izmir-Balcova", *Energy Conversion and Management*, **44 (8)**, (2003), 1285.
- [8] Barbier, E., "Geothermal energy technology and current status: an overview" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **6 (1-2)**, (2002), 3.

- [9] Afgan, N.H., Gobaisi, D.A., Carvalho, M.G., Cumo, M., "Sustainable energy development", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2 (3)**, (1998), 235.
- [10] Lund, J.W., "Geothermal Energy Focus", World Geothermal Congress 2005 (WGC2005), Turkey, (2006).
- [11] Evrendilek, F., Ertekin, C., "Assessing the potential of renewable energy sources in Turkey", *Renewable Energy*, **28 (15)**, (2003), 2303.
- [12] Kaygusuz, K., Sarı, A., "Renewable energy potential and utilization in Turkey", *Energy Conversion and Management*, **44**, (2003), 459.
- [13] ZREU (Zentrum für rationelle Energieanwendung und Umwelt GmbH), "Business Opportunities in the Geothermal Energy Sector in Turkey", Directorate-General Energy and Transport and Directorate-General Research Report, (2003).
- [14] Eliasson, E.T., Björnsson, O.B., "Multiple integrated applications for low to medium-temperature geothermal resources in Iceland", *Geothermics*, **32 (4-6)**, (2003), 439.
- [15] Bloomquist, R.G., "Geothermal space heating", *Geothermics*, **32 (4-6)**, (2003), 513.
- [16] Coskun, C., Oktay, Z., Dincer, I., "New energy and exergy parameters for geothermal district heating systems", *Applied Thermal Engineering*, **29 (11-12)**, (2009), 2235.
- [17] Coskun, C., Oktay, Z., Altinkaya, K., Dincer, I., "Cost and Environmental Assessments of a Heat Pump Assisted Geothermal District Heating System", Fourth International Exergy, Energy and Environment Symposium, UAE, (2009).
- [18] Dagdas, A., "Heat exchanger optimization for geothermal district heating systems: A fuel saving approach", *Renewable Energy*, **32 (6)**, (2007) 1020.

- [19] Mertoglu, O., Bakir, N., Kaya, T., "Geothermal applications in Turkey", *Geothermics*, **32 (4-6)**, (2003), 419.
- [20] Oktay, Z., Dincer, I., "Exergoeconomic analysis of the Gonen geothermal district heating system for buildings", *Energy and Buildings*, **41 (2)**, (2009), 154.
- [21] Oktay, Z., Coskun, C., Dincer, I., "Energetic and exergetic performance investigation of the Bigadic Geothermal District Heating System in Turkey", *Energy and Buildings*, **40 (5)**, (2008), 702.
- [22] Oktay, Z., Dincer, I., "Energetic, Exergetic, Economic and Enviromental Assessments of the Bigadiç Geothermal Dicitrict Heating System as a Patential Green Solution", *International Journal of Green Energy*, **4 (5)**, (2007), 549.
- [23] Oktay, Z., Aslan, A., "Geothermal district heating in Turkey: The Gonen case study", *Geothermics*, **36 (2)**, (2007) 167.
- [24] Ozgener, L., Hepbasli, A., Dincer, I., Rosen, M. A., "Exergoeconomic analysis of geothermal district heating systems: A case study", *Applied Thermal Engineering*, **27 (8-9)**, (2007) 1303.
- [25] Ozgener, L., Hepbasli, A., Dincer, I., "Exergy analysis of two geothermal district heating systems for building applications", *Energy Conversion and Management*, **48 (4)**, (2007) 1185.
- [26] Ozgener, L., Hepbasli, A., Dincer, I., "A key review on performance improvement aspects of geothermal district heating systems and applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **11 (8)**, (2006), 1675.
- [27] Ozgener, L., Hepbasli, A., Dincer, I., "Performance investigation of two geothermal district heating systems for building applications: Energy analysis", *Energy and Buildings*, **38 (4)**, (2006), 286.

- [28] Ozgener, L., Hepbasli, A., Dincer I., "Energy and exergy analysis of geothermal district heating systems: an application", *Building and Environment*, **40 (10)**, (2005) 1309.
- [29] Richter, S., Thorarinsdottir, R.I., Jonsdottir, F., "On-line corrosion monitoring in geothermal district heating systems. II. Localized corrosion", *Corrosion Science* **49 (4)**, (2007) 1907.
- [30] Stevanovic, V.D., Prica, S., Maslovaric, B., Zivkovic, B., Nikodijevic, S., "Efficient numerical method for district heating system hydraulics", *Energy Conversion and Management* **48 (5)**, (2007), 1536.
- [31] Adaro, J.A., Galimberti, P.D., Lema, A.I., Fasulo, A., Barral, J.R., "Geothermal contribution to greenhouse heating", *Applied Energy*, **64 (1-4)**, (1999), 241.
- [32] Bakos G.C., Fidanidis, D., Tsagas, N.F., "Greenhouse heating using geothermal energy", *Geothermics*, **28 (6)**, (1999), 759.
- [33] Ghosal, M.K., Tiwari, G.N., "Mathematical modeling for greenhouse heating by using thermal curtain and geothermal energy", *Solar Energy*, **76 (5)**, (2004), 603.
- [34] Karytsas, C., Mendrinou, D., Goldbrunner, J., "Low enthalpy geothermal energy utilisation schemes for greenhouse and district heating at Traianoupolis Evros, Greece", *Geothermics*, **32 (1)**, (2003), 69.
- [35] Mahmoudi, H., Spahis, N., Goosen, M.F., Ghaffour, N., Drouiche, N., Ouagued, A., "Application of geothermal energy for heating and fresh water production in a brackish water greenhouse desalination unit: A case study from Algeria", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14 (1)**, (2010), 512.
- [36] Coskun, C., Oktay, Z., Dincer, I., *Global Warming-Engineering Solutions*, Springer, (2008), p. 147.

- [37] Coskun, C., Oktay, Z., Dincer, I., "Investigation of a Hybrid Solar and Geothermal Driven Absorption Cooling System for District Energy Systems", 2nd International Conference on Nuclear and renewable Energy Resources, Ankara Turkey, (2010).
- [38] Kairouani, L., Nehdi, E. "Cooling performance and energy saving of a compression–absorption refrigeration system assisted by geothermal energy", *Applied Thermal Engineering*, **26 (2-3)**, (2006), 288.
- [39] Kececiler, A., Acar H.I., Dogan., A., "Thermodynamic analysis of the absorption refrigeration system with geothermal energy: an experimental study", *Energy Conversion & Management*, **41 (1)**, (2000), 37.
- [40] Arslan, O., "Exergoeconomic evaluation of electricity generation by the medium temperature geothermal resources, using a Kalina cycle: Simav case study", *International Journal of Thermal Sciences*, **49 (9)**, (2010), 1866.
- [41] Borsukiewicz-Gozdur, A., "Dual-fluid-hybrid power plant co-powered by low-temperature geothermal water", *Geothermics*, **39 (2)**, (2010), 170.
- [42] Borsukiewicz-Gozdur, A., Nowak, W., "Maximising the working fluid flow as a way of increasing power output of geothermal power plant", *Applied Thermal Engineering*, **27 (11-12)**, (2007), 2074.
- [43] Bruhn, M., "Hybrid geothermal–fossil electricity generation from low enthalpy geothermal resources: geothermal feedwater preheating in conventional power plants", *Energy*, **27(4)**, (2002), 329.
- [44] Dağdaş, A., Öztürk, R., Bekdemir, Ş., "Thermodynamic evaluation of Denizli Kızıldere geothermal power plant and its performance improvement", *Energy Conversion and Management*, **46 (2)**, (2005), 245.

- [45] Dagdas, A., "Exergy analysis and pressure optimisation of geothermal binary power plants", *Int. J. of Exergy*, **2 (4)**, (2005), 409.
- [46] DiPippo, R., "Second Law assessment of binary plants generating power from low-temperature geothermal fluids", *Geothermics*, **33 (5)**, (2004), 565.
- [47] DiPippo, R., "Ideal thermal efficiency for geothermal binary plants", *Geothermics*, **36 (3)**, (2007), 276.
- [48] Franco, A., Villani, M., "Optimal design of binary cycle power plants for water-dominated, medium-temperature geothermal fields", *Geothermics*, **38 (4)**, (2009), 379.
- [49] Frick, S., Kaltschmitt, Schröder, M. G., "Life cycle assessment of geothermal binary power plants using enhanced low-temperature reservoirs", *Energy*, **35 (5)**, (2010), 2281.
- [50] Gokcen, G., Ozturk, H.K., Hepbasli, A., "Overview of Kizildere Geothermal Power Plant in Turkey", *Energy Conversion and Management*, **45 (1)**, (2004), 83.
- [51] Gu, Z., Sato, H., "Optimisation of cyclic parameters of a supercritical cycle for geothermal power generation", *Energy Conversion and Management*, **42**, (2001), 1409.
- [52] Hettiarachchi, H.D. M., Golubovica, M., Worek, W. M., Ikegami, Y., "Optimum design criteria for an Organic Rankine cycle using low-temperature geothermal heat sources", *Energy*, **32 (9)**, (2007), 1698.
- [53] Heberle, F., Brüggemann, D., "Exergy based fluid selection for a geothermal Organic Rankine Cycle for combined heat and power generation", *Applied Thermal Engineering*, **30 (11-12)**, (2010), 1326.

- [54] Kanoglu, M., "Exergy analysis of a dual-level binary geothermal power plant", *Geothermics*, **31 (6)**, (2002), 709.
- [55] Kanoglu, M., Bolatturk, A., "Performance and parametric investigation of a binary geothermal power plant by exergy", *Renewable Energy*, **33 (11)**, (2008), 2366.
- [56] Kohla, T., Speck, R., "Electricity production by geothermal hybrid – plants in low-enthalpy areas", Twenty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, (2004).
- [57] Köse, R., "Research on the generation of electricity from the geothermal resources in Simav region, Turkey", *Renewable Energy*, **30 (1)**, (2005), 67.
- [58] Köse, R., "Geothermal energy potential for power generation in Turkey: A case study in Simav, Kutahya", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **11 (3)**, (2007), 497.
- [59] Ozcan, N.Y., Gokcen, G., "Thermodynamic assessment of gas removal systems for single-flash geothermal power plants", *Applied Thermal Engineering*, **29 (14-15)**, (2009), 3246.
- [60] Sohel, M.I., Sellier, M., Brackney, L.J., Krumdieck, S., "Efficiency improvement for geothermal power generation to meet summer peak demand", *Energy Policy*, **37 (9)**, (2009), 3370.
- [61] Thain, I.A., Carey, B., "Fifty years of geothermal power generation at Wairakei", *Geothermics*, **38 (1)**, (2009), 48.
- [62] Yari, M., "Exergetic analysis of various types of geothermal power plants", *Renewable Energy*, **35 (1)**, (2010), 112.

- [63] Yildirim, E.D., Gokcen, G., "Exergy analysis and performance evaluation of Kizildere Geothermal Power Plant, Turkey", *Int. J. of Exergy*, **1 (3)**, (2004), 316.
- [64] Wilson, N., Webster-Brown, J., Brown, K., "Controls on stibnite precipitation at two New Zealand geothermal power stations", *Geothermics*, **36 (4)**, (2007), 330.
- [65] Arslan, O., Kose R., "Exergoeconomic optimization of integrated geothermal system in Simav, Kutahya", *Energy Conversion and Management*, **51 (4)**, (2010), 663.
- [66] Kanoğlu, M. and Cengel Y.A., "Economic evaluation of geothermal power generation, heating, and cooling", *Energy*, **24 (6)**, (1999), 501.
- [67] Rosen, M.A., Le, M.N., Dincer, I., "Thermodynamic assessment of an integrated system for cogeneration and district heating and cooling", *Int. J. of Exergy*, **1 (1)**, (2004), 94.
- [68] Afgan, N.H., Gobaisi, D.A., Carvalho, M.G., Cumo, M., "Sustainable energy development", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2**, (1998), 235.
- [69] Dincer, I., Erdallı, Y., "Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin rolü ve etkinliği", *Termodinamik*, **5**: (1993), 31.
- [70] Hidalgo, M.C.R., Aumente, P.R., Millan, M.I., Neumann, A.L., Mangual, R.S., "Energy and carbon emission savings in Spanish housing air-conditioning using solar driven absorption system", *Applied Thermal Engineering*, **28**, (2008), 1734.
- [71] Romero, R.J., Rivera, W., Pilatowsky, I., Best, R., "Comparison of the modeling of a solar absorption system for simultaneous cooling and heating operating with an aqueous ternary hydroxide and with water/lithium bromide", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **70**, (2001), 301.

- [72] Ileri, A., "A discussion on performance parameters for solar-aided absorption cooling systems", *Renewable Energy*, **10**, (1997), 617.
- [73] Gommed, K., Grossman, G., "Experimental investigation of a liquid desiccant system for solar cooling and dehumidification", *Solar Energy*, **81**, (2007), 131.
- [74] Rivera, C.O., Rivera, W., "Modeling of an intermittent solar absorption refrigeration system operating with ammonia–lithium nitrate mixture", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, **76**, (2003), 417.
- [75] Pierres, N.L., Mazet, N., Stitou, D., "Experimental results of a solar powered cooling system at low temperature", *International Journal of Refrigeration*, **30**, (2007), 1050.
- [76] Balaras, C.A., Grossman, G., Henning, H.M., Ferreira, C.A.I., Podesser, E., Wang, L., Wiemken, E., "Solar air conditioning in Europe: an overview", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **11**, (2007), 299.
- [77] Mendes, L.F., Collares-Pereira, M., Ziegler, F., "Supply of cooling and heating with solar assisted absorption heat pumps: an energetic approach", *International Journal of Refrigeration*, **21** (2), (1998), 116.
- [78] Balghouthi, M., Chahbani, M.H., Guizani, A., "Feasibility of solar absorption air conditioning in Tunisia", *Building and Environment*, **43**, (2008), 1459.
- [79] Hawlader, M.N.A., Wood, B.D., Folkman, C.C., Stack, A.P., "Solar assisted open-cycle absorption cooling: performance of collector/regenerators", *International Journal of Energy Research*, **21**, (1997), 549.
- [80] Kabeel, A.E., "Augmentation of the performance of solar regenerator of open absorption cooling system", *Renewable Energy*, **30**, (2005), 327.

- [81] Sozen, A., Ozalp, M., "Solar-driven ejector-absorption cooling system", *Applied Energy*, **80**, (2005), 97.
- [82] Sozen, A., Ozalp, M., Arcaklioglu, E., "Prospects for utilisation of solar driven ejector-absorption cooling system in Turkey", *Applied Thermal Engineering*, **24**, (2004), 1019.
- [83] Atmaca, I., Yigit, A., "Simulation of solar-powered absorption cooling system", *Renewable Energy*, **28**, (2003), 1277.
- [84] Joudi, K.A., Abdul-Ghafour, Q.J., "Development of design charts for solar cooling systems. Part I: computer simulation for a solar cooling system and development of solar cooling design charts", *Energy Conversion and Management*, **44**, (2003), 313.
- [85] Li, Z.F., Sumathy, K., "Performance study of a partitioned thermally stratified storage tank in a solar powered absorption air conditioning system", *Applied Thermal Engineering*, **22**, (2002), 1207.
- [86] Akdemir, Ö., Güngör, A., "Absorpsiyonlu soğutma sistemleri; verimlerini artırmak için geliştirilen çevrimler", V. Ulusal tesisat mühendisliği kongresi ve sergisi, Izmir, (2001), p 99.
- [87] Aphornratana, S., Sriveerakul, T., "Experimental studies of a single-effect absorption refrigerator using aqueous lithium–bromide: Effect of operating condition to system performance", *Experimental Thermal and Fluid Science*, **32**, (2007), 658.
- [88] Mroz, T.M., "Thermodynamic and economic performance of the LiBr–H₂O single stage absorption water chiller", *Applied Thermal Engineering*, **26**, (2006), 2103.
- [89] Li, Z.F., Sumathy, K. "Simulation of a solar absorption air conditioning system", *Energy Conversion & Management*, **42**, (2001), 313.

[90] Kim J., Ziegler, F., Lee, H., "Simulation of the compressor-assisted triple-effect H₂O/LiBr absorption cooling cycles", *Applied Thermal Engineering*, **22**, (2002), 295.

[91] George, J.M., Murthy, S.S., "Influence of absorber effectiveness on performance of vapor absorption heat transformers", *International Journal of Energy Research*, **13**, (1989), 629.

[92] Hammond, G.P., Stapleton, A.J., "Exergy analysis of the United Kingdom energy system", *Proc. Inst. Mech. Engrs.*, **215**, (2001), 141.