

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİNALARDA ENERGO-EKONOMİK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK  
VE VERİMLİLİK İÇİN BİR KARAR VERME ALGORİTMASI:  
TÜRKİYE'DE ÖRNEK VAKA İNCELEMESİ**

**DERYA KIŞLA TEKİN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**2019**

**BİNALARDA ENERGO-EKONOMİK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK  
VE VERİMLİLİK İÇİN BİR KARAR VERME ALGORİTMASI:  
TÜRKİYE'DE ÖRNEK OLAY İNCELEMESİ**

**A DECISION MAKING ALGORITHM FOR ENERGO-  
ECONOMIC SUSTAINABILITY AND EFFICIENCY IN  
BUILDINGS: A CASE STUDY IN TURKEY**

**DERYA KIŞLA TEKİN**

Başkent Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
ENERJİ Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak hazırlanmıştır.

2019

“Binalarda energo-ekonomik sürdürülebilirlik ve verimlilik için bir karar verme algoritması: Türkiye’de örnek vaka incelemesi” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından, ..../...../.....tarihinde, **ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :.....  
Prof.Dr. Tahir YAVUZ

Üye (Danışman) :.....  
Dr. Öğr. Üyesi Levent ÇOLAK

Üye :.....  
Doç. Dr. Mustafa Zeki YILMAZOĞLU

**ONAY**

...../...../.....

Prof. Dr. Faruk ELALDI  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS / DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU**

Tarih: ... / ... / 20...

Öğrencinin Adı, Soyadı : Derya Kışla Tekin  
Öğrencinin Numarası : 21220186  
Anabilim Dalı : Enerji Mühendisliği  
Programı : Tezli Yüksek Lisans  
Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Dr.Öğr.Üyesi Levent ÇOLAK  
Tez Başlığı : Binalarda Energo-Ekonomik Sürdürülebilirlik ve Verimlilik İçin Bir Karar Verme Algoritması: Türkiye’de Örnek Vaka İncelemesi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans/Doktora tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam ..... sayfalık kısmına ilişkin, ..... / ..... / 20... tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından ..... adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % .....’dır.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası:.....

Onay

... / ... / 20...

Öğrenci Danışmanı Dr.Öğr.Üyesi Levent ÇOLAK

## TEŞEKKÜR

Birlikte çıktığımız bu uzun yolda her zaman desteğini, güvenini, güler yüzünü ve sevgisini hissettiğim canım eşim Gökberk TEKİN' e teşekkürlerimi sunarım.

Eğitimimizi her zaman her şeyin üzerinde tutan, her zaman yoluma ışık olan, bilgiye, akla ve bilime hep önem veren, kendime güvenmem için beni cesaretlendiren, her koşulda beni destekleyen, yüksek lisansa başladığım dönemde her türlü zorluğa birlikte göğüs gerdiğimiz başta canım annem Gülay KIŞLA ve canım babam İsmet KIŞLA olmak üzere, destekleri ve varlıkları ile bana hep güç veren sevgili ablalarım ve eşleri Berrak Nevra ÖZBUDAK, Duygu KIŞLA PARMAKSIZ, Oktay ÖZBUDAK ve Ahmet PARMAKSIZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ailemizin moral ve motivasyon kaynağı olan yeğenlerim Defne Güneş PARMAKSIZ, Arhan ÖZBUDAK, Beste Ege PARMAKSIZ'a bayrağı bizim devrettiğimiz yerden daha da yükseklerle taşımaları dileğiyle birlikte teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın tamamlanabilmesi için bu zorlu süreçte desteklerini ve bilgilerini esirgemeyen, saygıdeğer tez danışmanım Sayın. Dr. Öğr. Üyesi Levent ÇOLAK' a şükranlarımı sunarım. Bilgisini, tecrübelerini, zamanını esirgmeden benimle paylaşan saygıdeğer Sayın. Prof. Dr. Birol KILKIŞ'a, Eser Yeşil Bina ile ilgili çalışmamda bilgilerini benimle paylaşan, hiçbir yardımdan çekinmeyen Sayın. Makine Yüksek Mühendisi Ayşe GÜLBEDEN'e ve ESER HOLDİNG'e şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim için vermiş olduğu destekten ötürü Başkent Üniversitesi'nin kurucusu saygıdeğer Sayın. Prof. Dr. Mehmet HABERAL'a şükranlarımı sunarım. Çalışmamı tamamlamam için desteklerini esirgemeyen saygıdeğer yöneticilerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak Ulu Önder ATATÜRK' ün de belirttiği gibi, *“Milli hedef belli olmuştur. Ona ulaşacak yolları bulmak zor değildir. Denebilir ki, hiçbir şeye muhtaç değiliz. Yalnız bir tek şeye çok ihtiyacımız vardır: ÇALIŞKAN OLMAK! “* Bilimin ışığında, her gün bir önceki günden daha çok çalışan herkese başarılar dilerim.

## ÖZ

# BİNALARDA ENERGO-EKONOMİK SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE VERİMLİLİK İÇİN BİR KARAR VERME ALGORİTMASI: TÜRKİYE'DE ÖRNEK VAKA İNCELEMESİ

Derya KIŞLA TEKİN

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Mühendisliği Anabilim Dalı

Tezin amacı, geleneksel yöntemle alternatif olarak geliştirilen yenilikçi melez sistem ile ısıtma, soğutma, elektrik, sıcak su gibi bina yüklerinin karşılarken geri ödeme süresi ve emisyon değerini minimize etmektir. Bu çerçevede; teknik, ekonomik ve çevresel parametreler incelenmiştir ve Excel tabanlı simülasyon programı oluşturulmuştur. Oluşturulan simülasyon programı ile son kullanıcının ihtiyaçları doğrultusunda binalarda sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği sağlanması hedeflenmiştir. Çalışmanın teknik çıktıları, melez sistemdeki elektrik ve doğalgaz tüketimleri ile düzlemsel toplaç ve panel alanlarıdır. Çalışmanın ekonomik çıktıları, toplam yatırım maliyeti, toplam işletme maliyeti, toplam maliyet ve geri ödeme süresidir. Çalışmanın çevresel çıktısı ise, yenilikçi yöntem ile elde edilen karbon dioksit kazancıdır. Çalışmada, yenilikçi melez sistemde sürekli devrede olan birlikte ısı ve güç sisteminin bina yüklerini karşılamaındaki oran değişiminin geri ödeme süresi ve karbon dioksit salımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında örnek vaka olarak seçilen Eser Yeşil Bina' nın bina yükleri çalışmanın girdisi olarak kullanılmıştır.

Çalışma sonucunda, Eser Yeşil Bina'nın geri ödeme süresi 11.8 yıl olarak bulunmuştur ve geliştirilen iki melez sistemden ilkinin geri ödeme süresi 13.2 yıl, ikinci melez sistemin geri ödeme süresi ise 9.2 yıldır. Melez sistemler ile önlenen karbon dioksit senaryo-1 ve senaryo-2 için sırasıyla 488,1 kgCO<sub>2</sub>/h ve 592,3 kgCO<sub>2</sub>/h'dir.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Enerji verimliliği, sürdürülebilir binalar, melez bina HVAC sistemleri, optimizasyon

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Levent ÇOLAK, Başkent Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü.

## **ABSTRACT**

### **A DECISION MAKING ALGORITHM FOR ENERGO-ECONOMIC SUSTAINABILITY AND EFFICIENCY IN BUILDINGS: A CASE STUDY IN TURKEY**

Derya KIŞLA TEKİN

Başkent University, Institute of Science, Department of Energy Engineering

The main objective of this dissertation is to develop a model that may be instrumental in simulating the payback period and the CO<sub>2</sub> emissions and determining their minimum values in buildings having hybrid while satisfying the HVAC and domestic hot water loads. Technical, economical and environmental variables were considered and an Excel based simulation program was established. The simulation program assists the user to seek, sustainable and efficient solution keeping in mind the needs of users. The technical outputs of this study are electricity and natural gas consumptions, also flape plate collector and panel area. The program also reports economic outputs of the study are total investment cost, total operating cost, total cost and the payback period. The environmental report of the program is the reduction of carbon dioxide emissions. In particular, in this thesis, the sensivity of economic and environmental results on the load share of the cogeneration unit were investigated. The calculation of building loads is not included in this study. Instead, the existing building loads of Eser Green Office Building were used as an input in the case study.

As a result of the study, the payback period of Eser Green Building was found as 11.8 years. The payback periods for two innovative design cases were 13.2 years and 9.2 years, respectively. The carbon dioxide prevented with hybrid systems are 488,1 kgCO<sub>2</sub>/h and 592,3 kgCO<sub>2</sub>/h for innovative first scenario and second scenario, respectively.

**KEY WORDS:** Energy efficiency, sustainable buildings, hybrid building HVAC systems, iterative optimization

**Supervisor:** Dr. Levent Çolak, Başkent University, Mechanical Engineering Department

## İÇİNDEKİLER

ÖZ .....	i
ABSTRACT .....	ii
1 GİRİŞ .....	1
1.1 Temel Kavramlar .....	1
1.2 Literatür Araştırması .....	1
1.3 Tezin Amaç ve Kapsamı .....	11
2 MATEMATİKSEL MODEL .....	13
2.1 Teknik Parametreler .....	13
2.1.1 Bina yükleri .....	16
2.1.2 Güç dönüştürücüleri .....	17
2.2 Çevresel Parametreler .....	35
2.3 Ekonomik Parametreler .....	36
2.3.1 Yatırım maliyeti .....	37
2.3.2 İşletme maliyeti .....	37
2.3.3 Geleneksel sistem için ekonomik analiz .....	39
2.3.4 Yenilikçi sistem için ekonomik analiz .....	40
2.4 Simülasyon .....	42
3 ÖRNEK UYGULAMA .....	45
3.1 Eser Yeşil Bina'nın Mevcut Durumu .....	45
3.1.1 Eser Yeşil Bina yükleri .....	46
3.1.2 Eser Yeşil Bina'da kullanılan mevcut güç dönüştürücüleri .....	48
3.2 Senaryolar .....	52
3.2.1 Senaryo 1 .....	55
3.2.2 Senaryo 2 .....	58
3.2.3 Mevcut durum ile geliştirilen senaryoların karşılaştırması .....	61
4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	65
KAYNAKLAR LİSTESİ .....	69



## ŞEKİLLER

		<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1	Depolama Sisteminin Kullanıldığı ve Kullanılmadığı Soğutma Sistemlerinin Akış Şeması	4
Şekil 1.2	Isı Depolama Sisteminin Anlık Giriş Isısı ve Çıkış Isısı ile Günün Saatleri Arasındaki Eğri	5
Şekil 1.3	Melez Sistem Akış Şeması	7
Şekil 2.1	Türkiye Güneşlenme Haritası	14
Şekil 2.2	Aylara göre Türkiye' nin Güneşlenme Süreleri (saat)	15
Şekil 2.3	Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Sistemi Kara Kutu Gösterimi	18
Şekil 2.4	Kazan Kara Kutu Gösterimi	19
Şekil 2.5	Birlikte Isı ve Güç Sistemi Kara Kutu Gösterimi	21
Şekil 2.6	Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi Kara Kutu Gösterimi	23
Şekil 2.7	Adsorpsiyonlu Soğutma Sistemi Kara Kutu Gösterimi	25
Şekil 2.8	Desikant Nem Alma Ünitesi Kara Kutu Gösterimi	26
Şekil 2.9	Değişken Soğutucu Akışkan Debili Klima Sistemi Kara Kutu Gösterimi	27
Şekil 2.10	Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Isı Eldesi için Kara Kutu Gösterimi	28
Şekil 2.11	Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Soğu Eldesi için Kara Kutu Gösterimi	29
Şekil 2.12	Düzlemsel Toplaç Kara Kutu Gösterimi	30
Şekil 2.13	Fotovoltaik Panellerde Göze Tipine Göre Birim Yüzey Alanında Üretilen Yıllık Üretilen Elektrik Miktarı (kWh-Yıl)	32
Şekil 2.14	Fotovoltaik Panel Kara Kutu Gösterimi	32
Şekil 2.15	Fotovoltaik Isı Melez Panel Kara Kutu Gösterimi	34
Şekil 2.16	Elektriğin Gelecek Projeksiyonu	38
Şekil 3.1	Ankara, Çankaya Bölgesinde Bulunan Eser Yeşil Bina	45
Şekil 3.2	Eser Yeşil Bina'nın Aylık Soğutma Yüğü	47
Şekil 3.3	Eser Yeşil Bina'nın Aylık Isıtma Yüğü	47
Şekil 3.4	Yaz Yüklerinin Karşılanması için Oluşturulan Melez Sistem	49
Şekil 3.5	Kış Yüklerinin Karşılanması için Oluşturulan Melez Sistem	50
Şekil 3.6	Buz Tankı Kullanımı ile Gündüz Pik Soğutma Yüğü'nün Karşılanması	51
Şekil 3.7	Sıcak Su Tanklarında Isı Depolaması ile Pik Yüğü'nün Karşılanması	51

## ŞEKİLLER

	<u>Sayfa</u>	
Şekil 3.8	Excel Tabanlı Simülasyon Algoritması	54
Şekil 3.9	Senaryo-1 için Seçilen Güç Dönüştürücüleri	57
Şekil 3.10	Senaryo-2 için Seçilen Güç Dönüştürücüleri	60
Şekil 3.11	BIG Sisteminin Isı Kapasitesindeki Değişimin Çevresel Etkisi	62
Şekil 3.12	BIG Isı Yüğü KO'nın GÖS Üzerindeki Etkisi	63
Şekil 3.13	BIG Isı Yüğü KO'nin Karbon Dioksit Salımı Üzerindeki Etkisi	64

## ÇİZELGELER

	<u>Sayfa</u>	
Çizelge 2.1	Ankara İlinin Son 10 Yıla Ait Aylara Göre Toplam Güneş Işınım Ortalaması ve Toplam Güneşlenme Süresi	15
Çizelge 2.2	Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Sistemi Parametreleri	18
Çizelge 2.3	Kazan Parametreleri	19
Çizelge 2.4	Yenilikçi Yöntemde Bina Yüklerinin Karşılmasında Kullanılabilecek Güç Dönüştürücüleri	20
Çizelge 2.5	Birlikte Isı ve Güç Sistemi Parametreleri	21
Çizelge 2.6	Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi Etkilerinin Performans Katsayısına Etkisi	22
Çizelge 2.7	Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi Parametreleri	24
Çizelge 2.8	Adsorpsiyonlu Soğutma Sistemi Parametreleri	25
Çizelge 2.9	Desikant Soğutma Sistemi Parametreleri	27
Çizelge 2.10	Değişken Soğutucu Akışkan Debili Klima Sistemi Parametreleri	28
Çizelge 2.11	Toprak Kaynaklı Isı Pompası Parametreleri	30
Çizelge 2.12	Düzlemsel Toplaç Parametreleri	31
Çizelge 2.13	Fotovoltaik Sistem Parametreleri	33
Çizelge 2.14	Fotovoltaik Isı Melez Panellerde Kullanılan İki Farklı Göze Tipinin Isı ve Elektriksel Verimlerinin Karşılaştırması	33
Çizelge 2.15	Fotovoltaik Isı Melez Panel Parametreleri	34
Çizelge 2.16	Şebeke Elektriği ve Doğalgazın Birim Fiyatları	38
Çizelge 2.17	Simülasyon Girdi Ekranı	43
Çizelge 2.18	Simülasyon Çıktı Ekranı	44
Çizelge 3.1	Eser Yeşil Bina Pik Yükler	47
Çizelge 3.2	Eser Yeşil Bina için Çalışmanın Ana Çıktıları	52
Çizelge 3.3	Senaryo-1 Çıktıları	58
Çizelge 3.4	Senaryo-2 Çıktıları	60
Çizelge 5.5	Geliştirilen Senaryolar için Simülasyon Çıktı Ekranı	61

## SİMGELER VE KISALTMALAR

<i>c</i>	Soğutma
<i>c<sub>1</sub></i>	Doğalgaz kaynaklı toplam karbon dioksit salım değeri[kgCO <sub>2</sub> /kWh]
<i>c<sub>2</sub></i>	Elektrik kaynaklı toplam karbon dioksit salım değeri [kgCO <sub>2</sub> /kWh]
<i>d</i>	Doğalgaz
<i>e</i>	Elektrik
<i>h</i>	Isıtma
<i>k</i>	Geleneksel
<i>rw</i>	Yenilenebilir
<i>t</i>	Yenilikçi melez sistemin ömrü [Yıl]
<i>y</i>	Yenilikçi
<i>η</i>	Verim
<i>in</i>	Giriş
<i>out</i>	Çıkış
<i>A</i>	Yüzey alanı [m <sup>2</sup> ]
<i>C</i>	Elektrik Isı Oranı [%]
<i>E</i>	Toplam karbon dioksit salım değeri [kgCO <sub>2</sub> ]
<i>F</i>	Yakıt
<i>G</i>	Karbon dioksit salım değeri [kWh]
<i>H</i>	Alt ısı değer [kcal/m <sup>3</sup> ]
<i>I</i>	Toplam Işınım [kWhm <sup>2</sup> ]
<i>K</i>	Cihaz kapasitesi
<i>L</i>	Yük [kWh]
<i>P</i>	Fiyat [\$]
<i>Q</i>	Isı [kWh]
<i>W</i>	Elektrik [kWh]
<i>T</i>	Sıcaklık [°C]
<i>AI</i>	Artık ısı
<i>BT</i>	Buz Tankı
<i>CH</i>	Buhar Sıkıştırımlı Soğutma Sistemi
<i>CO<sub>2</sub></i>	Karbon dioksit
<i>DT</i>	Düzlemsel Toplaç

## SİMGELER VE KISALTMALAR

<i>KA</i>	Kazan
<i>KO</i>	Karşılama oranı
<i>İM</i>	İşletme maliyeti [\$]
<i>PV</i>	Fotovoltaik panel
<i>TM</i>	Toplam maliyet [\$]
<i>TI</i>	Toprak ısı
<i>YM</i>	Yatırım maliyeti [\$]
<i>ABS</i>	Absorpsiyonlu soğutma sistemi
<i>ADS</i>	Adsorpsiyonlu soğutma sistemi
<i>BIG</i>	Birlikte ısı ve güç sistemi
<i>COP</i>	Tesir katsayısı
<i>DSK</i>	Desikant soğutma sistemi
<i>GÖS</i>	Geri ödeme süresi [Yıl]
<i>GDS</i>	Güç Dönüştürücü Sistem
<i>VRV</i>	Değişken debili soğutucu
<i>PV/T</i>	Fotovoltaik ısı melez panel
<i>TES</i>	Sıcak su deposu
<i>HVAC</i>	Isıtma, soğutma ve havalandırma sistemi
<i>TKIP</i>	Toprak kaynaklı ısı pompası

# 1 GİRİŞ

## 1.1 Temel Kavramlar

Günümüzde binaların konfor ısınması ve sıcak su talepleri genellikle doğalgaz ile, soğutma ve elektrik talepleri ise şebeke elektriği ile karşılanmaktadır. Geleneksel yöntemlerde bina yüklerini karşılamak için kullanılan yenilenemez enerji kaynaklarının gelecekteki projeksiyonuna bakıldığında darboğaz oluşması beklenmektedir ve bu kaynaklar çevresel tahribatlara sebebiyet vermektedir. 2030 yılında toplam CO<sub>2</sub> salımının 10 milyar ton/yıl aşması beklenmektedir [1]. Bu kapsamda, fiyat artışı ile oluşan enerji dar boğazı ve cari açık ile çevresel etmenler de göz önünde bulundurulduğunda geleneksel yöntemlere alternatif olacak, binalarda sürdürülebilirlik ve enerji verimliliğinin ön planda tutulduğu yenilikçi yöntemlerin geliştirilmesi giderek büyük önem kazanmaktadır. Avrupa Komisyonu, 2020 yılına kadar toplam enerji bütçesinin içinde yenilenebilir kaynaklarının % 27'ye ulaşmasını hedeflemektedir [2]. Sürdürülebilirlik için yenilenebilir enerji, toprak ısı, artık ısı gibi enerji kaynaklarının kullanılması ve yaşadığımız binalarla bütünleştirilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir.

## 1.2 Literatür Araştırması

Bir binanın elektrik, ısıtma, soğutma ve sıcak su gibi başlıca yüklerinin sürdürülebilir ve verimli bir şekilde karşılanması konusu dâhilinde, anahtar kelimeler vasıtası ile ulusal ve uluslararası tezler, makaleler ve bildirimler araştırılmıştır. Yapılan literatür çalışması ve özellikle Türkiye'deki tezlerin araştırılması sonucunda, binalarda energo-ekonomik sürdürülebilirlik ve verimlilik için bir karar verme destek algoritması uygun görülmüş olup Türkiye'de benzer bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Zhang ve arkadaşları [3] dünyada en çok enerji tüketen ve karbon dioksit salımına neden olan Çin'de yeşil bina teşviğinin önemini vurgulamışlardır. Amerika (BREEAM) ve İngiltere (LEED) gibi ülkelerin yeşil bina standartları ile Çin'in yeşil bina standardı karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma enerji tasarrufu, su tasarrufu, malzeme tasarrufu, saha seçimi ile açık ve kapalı alan, çevre kalitesi gibi ana başlıklardan oluşmaktadır. Çin, ilk olarak 2006 yılında yeşil bina için ulusal

değerlendirme standardını yürürlüğe koymuştur ve 2014 yılında bu standardı revize etmiştir. 2010 yılında, binalar toplam küresel nihai enerji kullanımının %32'sini ve enerji ile ilgili karbon salımının %19'unu oluşturmaktadır. Mevcut durumun devam etmesi halinde yüzyılın ortalarına kadar kullanılan enerjinin ve karbon salımının iki katına çıkması beklenmektedir. Çin'de her yıl 1.6-2 milyon m<sup>2</sup> büyüklüğünde bina inşa edilmektedir ve bu sayı her yıl dünyada inşa edilen binaların %40'ına karşılık gelmektedir. Bu nedenle, yeşil binalar için teşvik, Çin açısından büyük önem taşımaktadır. Amerika ve İngiltere'nin standartları göz önünde bulundurulduğunda Çin yeşil bina standardı, emisyon, yapı teknolojileri, çevre koruması, yeşil bina gereksinimlerinin ileri düzeydeki gerekliliklerinden olan ısıtma, havalandırma, aydınlatma, malzeme konularına önem vermelidir. Bunun yanı sıra yapılan çalışmaların denetlenmesi, takip edilmesi, finansal teşviklerin devamlılığı ile ilerleme sağlanması mümkün olacaktır.

Iodice ve arkadaşları [4] fosil yakıtlarda yaşanacak dar boğaz ve bu yakıtların çevreye verdiği zararların önüne geçilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile Napoli'de (İtalya) bölgesel ısıtma/soğutma ihtiyaçlarının modern bir trijenerasyon tesisi tarafından sağlanmasını amaçlamışlardır. Çalışmada iki farklı enerji santrali ele alınmıştır. İlk senaryoda enerji kaynağı, doğalgazdır ve ikinci senaryoda bitkisel yağlardır. İki farklı sistem için yatırımın geri ödeme süresini değerlendirmek amacıyla teknoekonomik analiz yapılmıştır ve doğalgazın kullanıldığı senaryoda geri ödeme süresi 7.3 yıl, bitkisel yağın kullanıldığı senaryo için de bu süre 4.6 yıl olarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında, yenilenebilir enerji kaynağına dayalı tesis yapılandırmasının daha uygun ve karlı olduğu belirlenmiştir. Trijenerasyon tesisinin yerel hava kalitesi üzerindeki etkileri bir Gauss dağılım modeli kullanılarak analiz edilmiştir ve kurulacak olan bir trijenerasyon tesisinin hava kalitesi üzerindeki olumsuz etkisinin %2'den daha az bir artışa neden olacağı belirlenmiştir.

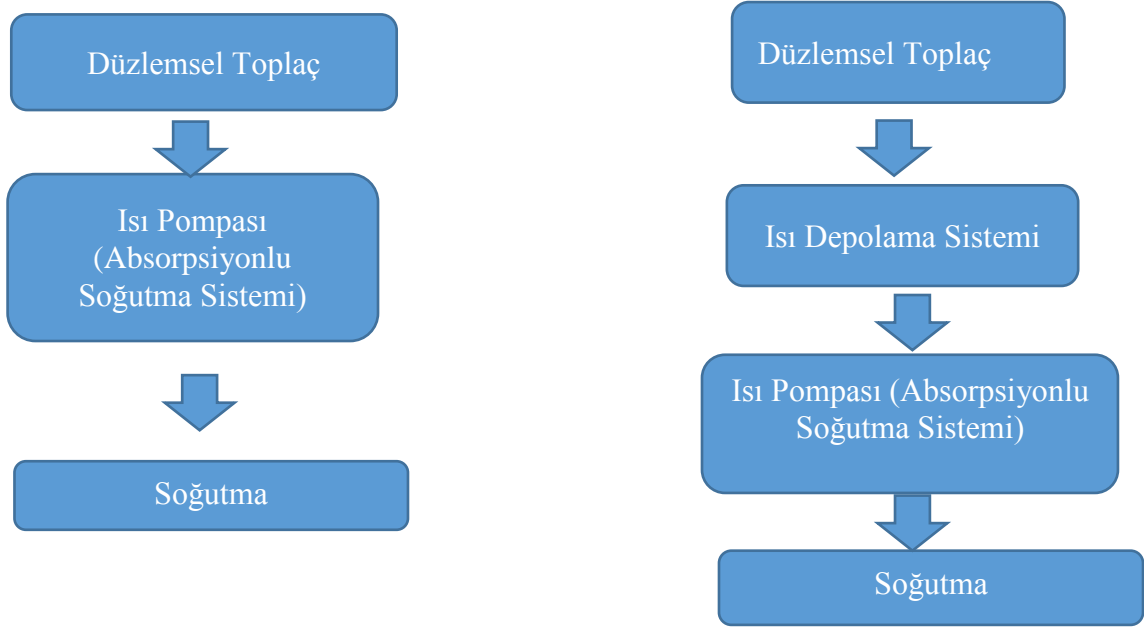
Wang ve arkadaşları [5] trijenerasyon ile üretilen elektriği, iklimlendirme sağlayan klima sistemini çalıştırmak için kullanmışlardır, bu sayede trijenerasyon cihazından elde edilen kazanç sadece klima sisteminin yüklerini karşılamada kullanılmıştır. Isıtma, soğutma ve elektrik gibi çoklu bina yüklerinin karşılanması amacıyla trijenerasyon ünitesinin kullanımı uygun bir yöntemdir, ancak gerçek uygulamalarda talebin doğduğu anda, eşzamanlı olarak talebin karşılanması

oldukça zordur. Bu nedenle elektrik yükü, ısıl yükten ayrılırsa, sistemi kontrol etmek için yaşanan zorluklar önlenmiş olur. Yapılan çalışmada binanın elektrik yükü şebeke elektriği tarafından sağlanmaktadır. İklimlendirme sağlayan HVAC cihazlarının harcadığı elektrik toplam enerji tüketiminin %20'sine ve bina enerji tüketiminin %50'sine karşılık gelmektedir. Çalışmada, sistem performansı, HVAC performansı, genel şebeke verimliliği ve enerji fiyatlarının sistem performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. İklimlendirme ve elektrik ihtiyacının birbirinden ayrıldığı trijenerasyon uygulaması, bağımsız HVAC sistemi ile karşılaştırıldığında enerji verimliliğinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. İklimlendirme ve elektrik ihtiyacının birbirinden ayrıldığı trijenerasyon uygulamalarında 100 kW üzerinde jeneratör kapasitesine sahip bir sistem için geri ödeme süresi 4 yıldan az olmaktadır. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Sistem performansı içten yanmalı motor kapasitesi ile değişim göstermektedir. Daha yüksek kapasiteye sahip içten yanmalı motorların performansı da daha yüksektir.
- İçten yanmalı motor kapasitesi 100 kW'a ulaştıktan sonra sistem performansı düşüş trendi göstermektedir. En iyi performans seviyesini elde etmek için kullanıcı, 544.7 kW üzerinde ısıtma yüküne veya 495.3 kW üzerinde soğutma çıkışına sahip olmalıdır.
- İçten yanmalı motorlarda kısmi yük oranının 0.4'ün altında olması sistem performansını ciddi oranda düşürürken, bu değer 0.7'nin üzerinde olması durumunda sistem performansı yükselmektedir. Bu nedenle, birden fazla küçük kapasiteli içten yanmalı motorlar, tek bir büyük kapasiteli içten yanmalı motorun yerine geçmek üzere değerlendirilebilir.

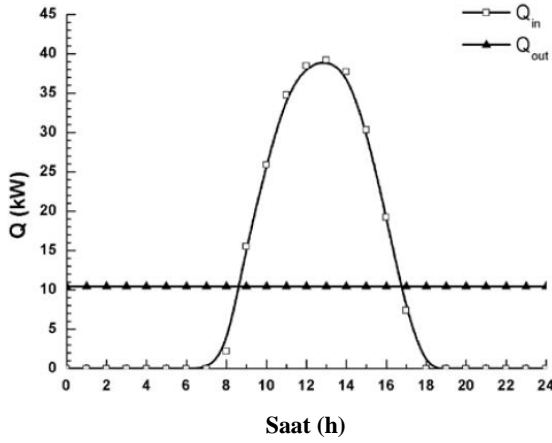
Li ve arkadaşları [6] faz değişimli depolama sistemi kullanarak güneş enerjisi destekli absorpsiyonlu soğutma sistemi ile kesintisiz soğutma elde etmişlerdir. Güneş enerjisinin kesikli bir ısı kaynağı olması ve bu nedenle sürekli soğutma elde edilmesindeki engel yapılan çalışma ile aşılmıştır. Yapılan çalışmada Şekil 1.1'de gösterilen depolama sisteminin olduğu ve depolama sistemin olmadığı iki sistemin karşılaştırması esas alınmıştır.





Şekil 1.1 Depolama sisteminin kullanıldığı ve kullanılmadığı soğutma sistemlerinin akış şeması [6]

Nanjing için yaz aylarında tipik meteorolojik veriler kullanılarak, 100 m<sup>2</sup> alana sahip güneş toplacının sistem performansı, termodinamik hesaplamalar yoluyla analiz edilmiştir. Geliştirilen bu sistem, soğutma kapasitesi açısından değerlendirildiğinde; sistemde bulunan düzlemsel toplaçlardan farklı zamanlarda elde edilebilecek faydalı güç yani ısı depolama sistemine giren ısı miktarı termodinamik model ve güneş radyasyon eğrisi yardımı ile hesaplanabilir. Isı depolama sistemine giren ısı miktarı toplamda 902 MJ'dür ve bu ısı soğutma sistemi için kullanılarak gün boyunca 9 kW soğutma gücü sağlanmaktadır. Anlık giriş ısı ( $Q_{in}$ ) ile ısı depolama sisteminin anlık çıkış ( $Q_{out}$ ) ısısının eğrisi Şekil 1.2'de gösterilmektedir. Isı depolama sisteminde, 9:00-17:00 saatleri arasında  $Q_{in}$  değeri,  $Q_{out}$  değerinden daha yüksektir, ancak 18:00-7:00 saatleri arasında  $Q_{out}$  değeri,  $Q_{in}$  değerinden yüksektir ve bu esnada ısı depolama sistemi, düşük ya da hiç güneş ışınımının olmadığı durumlarda devreye girerek sürekli soğutma sağlamaktadır.



Şekil 1.2 Isı depolama sisteminin anlık giriş ısı ve çıkış ısı ile günün saatleri arasındaki eğri [6]

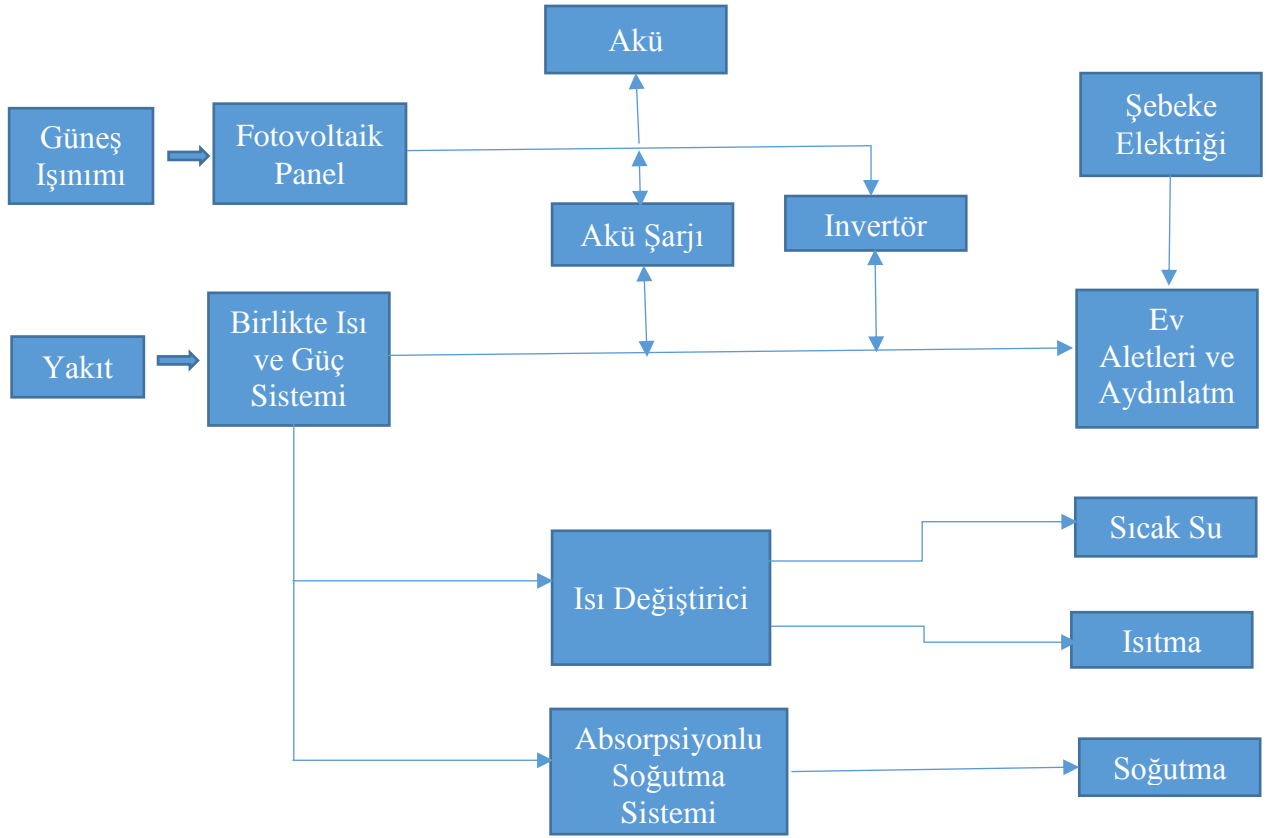
Marrero ve arkadaşları [7] bir mikro-trijenerasyon sistemine, güneş enerjisi sistemini, mikro-birlikte ısı ve güç sistemini ve bir absorpsiyonlu soğutma sistemini entegre etmişlerdir. Örnek çalışma olarak Atina (Yunanistan), Lizbon (Portekiz), Madrid (İspanya), Paris (Fransa) ve Londra (İngiltere)'da bulunan otel binaları kullanılmıştır. Çalışmada, güneşten elde edilen enerjinin, diğer dönüştürücü sistemlerden elde edilen enerjiye oranı güneşten yararlanma oranı olarak adlandırılmaktadır. Mikro-birlikte ısı ve güç sisteminin artık ısı, sıcak su ve absorpsiyonlu soğutma sistemi için kullanılmaktadır. Aynı zamanda sıcak su depolama tankı, absorpsiyonlu soğutma sistemi ve mikro-birlikte ısı ve güç sistemi için ısı kaynağıdır. Tek etkili absorpsiyonlu soğutma sisteminde iş akışkanı olan suyun giriş sıcaklığı 80 °C ile 100 °C arasında değişmektedir. Çalışmada, farklı güneş kolektör alanları ve tank kapasiteleri değerlendirilmiştir. Güneş sistemi, soğutma sistemi ve bileşenleri için TRNSYS simülasyon programı ve mikro-birlikte ısı ve güç sistemi için EES yazılımı kullanılarak modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler;

- Trijenerasyon sistemi için aylık güneşten yararlanma oranı (fTRIG), 250 m<sup>2</sup>'lik bir toplaç alanı kullanıldığında, tüm şehirler için yaz mevsiminde %55 ile 58 arasında değişmektedir.
- Güneşten yararlanma oranı ile güneş kolektör alanındaki değişim incelendiğinde; güneşten yararlanma oranı 250 ve 450 m<sup>2</sup>'lik kolektör alanları için benzerlik göstermektedir ve bu oran 50 m<sup>2</sup>'lik kolektör

alanından yüksektir. Toplaç alanındaki değişimin güneşten yaralanma oranına etkisi en fazla Atina'da ve en az Londra'da gözlemlenmiştir.

- Karşılaştırmanın yapıldığı beş şehir içinde en yüksek güneşten yaralanma oranının değeri Ağustos ayında olduğu gözlemlenmiştir.

Nosrat ve arkadaşları [8] konutlarda kullanılan fotovoltaik panel ile entegrasyonu sağlanan trijenerasyon melez sistem için PVTOM olarak adlandırılan bir matematiksel simülasyon ve optimizasyon sistemi tasarlamışlardır. PVTOM, CHREM (Kanada Melez Konut Enerji ve Emisyon Modeli) sonuçları ile birleştirilmiştir. Bu model, fotovoltaik panel ile entegrasyonu sağlanan trijenerasyon ve birlikte ısı ve güç sisteminin enerji verimliliğinin karşılaştırılması amacıyla kullanılmıştır. PVTOM, sistemin yatırım maliyeti, yakıt maliyeti, eskiyen ekipmanların değişimini ifade eden ömür maliyeti ve karbon dioksit salımını düşürmek için çok amaçlı bir algoritmadan oluşmaktadır. Çalışmada sistemin karbon dioksit salımının, sadece birlikte ısı ve güç sisteminin yakıtından kaynaklandığı kabul edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 1.3'te gösterilen akış şemasına göre güneş enerjisi ve doğalgaz olmak üzere iki tane birincil enerji kaynağı vardır. Çalışmada trijenerasyon sistemi ev aletleri, aydınlatma, ısı, soğu ve sıcak su yüklerini karşılamak için kullanılmıştır. Elektrik ihtiyacı fotovoltaik panel ile birlikte ısı ve güç sisteminden karşılanmaktadır, bu melez sistemin yetersiz kaldığı yerlerde akü ve şebeke elektriği destek sistemi olarak kullanılmaktadır. Birlikte ısı ve güç sisteminin artık ısı, absorpsiyonlu soğutma sistemini beslemektedir. Aynı zamanda birlikte ısı ve güç sistemi ısıtma, sıcak su gereksinimleri için de ısı ve enerji sağlamaktadır. Simülasyon sonuçlarına bakıldığında, özellikle soğutma yükü yüksek olan bölgelerde fotovoltaik panel ile entegrasyonu sağlanan trijenerasyon sisteminin enerji verimliliği fotovoltaik panel ile entegrasyonu sağlanan birlikte ısı ve güç sisteminden daha yüksektir. Fotovoltaik panel ile entegrasyonu sağlanan trijenerasyon ve birlikte ısı ve güç sistemlerinin her ikisinin de, bina yüklerini karşılarlarken karbon dioksit salımında %50 ile %90 oranında düşüş olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1.3 Melez sistem akış şeması [8]

Atılğan ve arkadaşları [9], tek bir dış ünite ile birden fazla iç ünitenin çalışmasına olanak sağlayan değişken soğutucu akışkan debili iklimlendirme sistemi (VRV) üzerine çalışmışlardır. Yapılan çalışmada, VRV'nin farklı çalışma koşullarında, debilerde ve soğutucu akışkanlarda gerçekleşen entropi oluşumları ve ekserji kayıpları hesaplanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar;

- En az ekserji kaybı, kısmi yük durumunda, en çok ekserji kaybının ise sadece soğutma yükü mevcut olduğunda meydana geldiği tespit edilmiştir,
- Farklı soğutucu akışkanlar dikkate alındığında en düşük ekserji kaybı R600a soğutucu akışkanında meydana gelmektedir. R600a'dan sonra en düşük ekserji kaybı sırasıyla R407, R134a, R404, R22, R507 ve R410a akışkanlarında olduğu belirlenmiştir.
- Ekserji kaybının en az olduğu durumda termodinamik analizlere göre en düşük maliyet akışı gerçekleşmektedir. Bu kapsamda en düşük maliyet akışı R600a akışkanının kullanıldığı durumda meydana gelmektedir.
- Sistemin ekserji verimi yaklaşık olarak %91,5- %93,5 arasındadır.

Askari ve arkadaşları [10] fotovoltaik panel, güneş toplaçları ve doğalgaz jeneratörü ile çalışan tipik mikro kombine (CCHP) sisteminin 1000 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip beş katlı bir binanın ısı ve elektrik yüklerini karşılaması üzerine çalışmışlardır. Bina, 48 kW elektrik, 100 kW ısıtma ve 50 kW soğutma pik yüküne sahiptir. Çalışmada dört farklı yakıt maliyetinin kullanıldığı senaryolar incelenmiştir. Çalışma seçilen en düşük fiyat için PV ile yüksek oranda doğalgaz jeneratörü kullanılmaktadır ve bu durum enerji üretmek için ekonomik bir seçenek değildir. Yakıt fiyatı 0,3 \$/m<sup>3</sup> eşit veya yüksek olduğu durumda güneş toplacı, mikro kombine sistemi için ekonomik bir seçenek olmaktadır.

Orhan ve Güngör [11] çalışmalarında adsorpsiyonlu ve absorpsiyonlu sistemlerin tasarım karakteristikleri, mevcut tasarımlar ve kullanılan ticari uygulamaların performanslarını incelemişlerdir. Absorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutucular temel prensip olarak birbirlerine benzeselerde çalışma özellikleri ve performans bakımından farklılıklar göstermektedirler. Adsorpsiyonlu sistemlerin sistem güvenilirliği oldukça yüksektir ve daha düşük sıcaklıklarda kullanıma müsaittir, ancak yaygınlığı düşük olduğu için de ilk yatırım maliyeti yüksektir. Absorpsiyonlu sistemlerde üretici firma sayısının yüksektir ve yaygın kullanılmaktadır, adsorpsiyonlu sistemlerin aksine bakım ve işletme maliyeti yüksektir.

Memon [12] binalarda kullanılan trijenerasyon sisteminin ekonomik analizi üzerinde çalışmışlardır. Çalışmada enerji ile ısıtma, enerji ile soğutma ve enerji, ısıtma, soğutma işletme koşulları, geri ödeme süresi ve paranın bugünkü değer hesabı dikkate alınmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre ısıtma ve soğutma ihtiyacı arttıkça kW başına toplam yatırım maliyeti düşmektedir. Enerji ile ısıtma işletimi ve enerji, ısıtma, soğutma işletimi, enerji ve soğutma işletimine göre maliyetleri daha düşüktür. Bunlara ek olarak trijenerasyon sistemi bölgesel sıcak su ihtiyacını da karşılamaktadır, bu ihtiyaç yıllık kişi başı 60 L/gün olarak belirlenmiştir ve 269 kWh'tir. Isıtma ve soğutma kapasitelerine bağlı olarak yatırım maliyeti, 13\$/kWh -1500 \$/kWh ve geri ödeme süresi de 2 ay ile 11 yıl arasında değişkenlik göstermektedir. Çalışmaya göre trijenerasyon sistemi, iskonto oranının düştüğü, yakıt fiyatları ile elektrik kullanım oranının yükseldiği durumlar için oldukça avantajlıdır.

Zhao ve arkadaşları [13] çalışmalarında trijenerasyon sisteminin tasarımı ve çalışması incelenmiştir. Trijenerasyon sistemi içten yanmalı motor, absorpsiyon ısı pompası, ısı değiştirici ve diğer ekipmanlardan oluşmaktadır. Trijenerasyon sistemi kış ve yaz olmak üzere iki farklı operasyon işletiminde çalışmaktadır. Sistem performansını değerlendirirken enerji verimliliği, ekserji verimliliği ve sistemin enerji tasarrufunu geleneksel sistemle karşılaştırmak için birincil enerji tasarrufu kullanılmıştır. Tam yükte, kışın hesaplanan maksimum enerji verimliliği %94,94 olarak bulunmuştur. Yaz aylarında hesaplanan maksimum enerji verimliliği %84,33'tür. Kışın hesaplanan maksimum ekserji verimliliği %38,01'dir. Yaz aylarında hesaplanan maksimum ekserji verimliliği % 36,01'dir.

Motor %50'lik bir yükten tam yük %100'e ulaştığında, elektrik verimliliği %31,9 ile %35,8 arasında değişmektedir ve absorpsiyon ısı pompasının ısı verimliliği kışın %37,9'dan %40,8'e yükselmiştir. Trijenerasyon sisteminin geri ödeme süresi 5.47 yıldır.

Hakeem [14] Irak'ın Bağdat ilinde yer alan toplu konut bölgesinin yıllık elektrik, soğutma ve ısıtma ihtiyaçlarını karşılamak üzere trijenerasyon ünitesi tasarlamıştır. Altmış evden ve bir alışveriş merkezinden oluşan toplu konutların yıllık elektrik ihtiyacı 508824 kWh/yıl'dır. Hesaplamalar sonucunda güneş enerjisi destekli trijenerasyon ünitesinin kapasitesi 1.5 MW olarak belirlenmiştir ve çalışmada 9 adet parabolik kolektör kullanılmıştır. Çalışmada aynı zamanda soğutma talebinin karşılanması amacıyla absorpsiyonlu soğutma ünitesi dahil edilmiştir. Tasarlanan trijenerasyon ünitesinin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Trijenerasyon ünitesini oluşturan ekipmanların ekserji analizine göre, %90 oranıyla en yüksek verim gaz türbinine ve %2.3 oranıyla en düşük verimin eşanjöre ait olduğu belirlenmiştir. Tasarlanan sistemin ömrü 20 yıldır ve toplam yatırım maliyeti, 2471500 \$ olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda yapılan çalışma ile çevre bilincinin artırılması, enerji darboğazına yenilikçi bir çözüm geliştirmek ve bu çalışma ile Irak'ta güneş enerjisi alanında sonraki çalışmalara ışık tutması hedeflenmiştir.

Yazman [15] ısınma yükünün doğalgaz kazanından, soğutma yükünün ayrışık tipi klimadan ve elektrik yükünün şehir şebekesinden karşılandığı geleneksel yöntemle karşılık trijenerasyon ünitesi ile tüm bu yüklerin karşılanacağı bir çözüm

geliştirmiştir. Sistemin termodinamik ve ekonomik analizi yapılmıştır. Çalışmada aynı zamanda trijenerasyon sistemini oluşturan ekipmanların ekserji analizleri yapılmış ve ekserji yıkımına neden olan cihazlar ile yıkım miktarı belirlenmiştir. Bu sayede çalışmanın verimini arttırmak için öncelikli olarak iyileştirme yapılacak cihazlar belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, öncelikle iyileştirme yapılacak ekipman, 75.77 kW kapasiteye sahip absorpsiyonlu soğutma grubu (chiller) yüksek sıcaklık jenaratörü'dür. Çalışma sonucunda, yıllık %26,5 enerji tasarrufu elde edileceği ve geri ödeme süresinin 3.22 yıl olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda çalışma bir üniversitenin hizmet binasına da uygulanmıştır.

Doğan [16] Ankara'da yer alan ve yıllık ısıtma ihtiyacı  $21.26 \text{ kWh/ m}^3$  olan üç katlı bir villanın ısıtma ihtiyacına karşılamak amacıyla iki farklı çözüm önerisi geliştirilmiştir. Bunlar, güneş enerjisi destekli hava kaynaklı ısı pompası ve güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompasıdır. Simülasyon çalışmasında, T\*SOL Pro 4.5 programı kullanılarak ihtiyaç duyulan kolektör sayısı 14 olarak belirlenmiştir. Isıtma ihtiyacını karşılamak için geliştirilen bu sistemler için enerji ve ekserji analizleri ile ekonomik analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Ankara gibi karasal iklime sahip olan yerlerde toprak kaynaklı ısı pompası kullanımı, hava kaynaklı ısı pompası kullanımına göre tesir katsayısının yüksek olması ve daha kararlı olması nedeniyle daha optimal bir çözümdür. Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, kazana ve toprak kaynaklı ısı pompasına oranla en yüksek işletme maliyeti hava kaynaklı ısı pompasınınındır. Geri ödeme süreleri kazan esas alınarak hesaplanmıştır ve güneş enerjisi destekli toprak kaynaklı ısı pompasının geri ödeme süresi 21 yıl, güneş enerjisi kullanılmayan toprak kaynaklı ısı pompasının geri ödeme süresi 20 yıl olarak belirlenmiştir. Geri ödeme süresindeki bu farklılığın sebebi, güneş enerjisi sisteminin ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasıdır.

Pastakkaya [17] güneş enerjisi kaynaklı absorpsiyonlu sistem ile bir konutun ısıtma, soğutma ve sıcak su ihtiyaçlarını karşılamayı hedeflemiştir. Çalışma hem deneysel hem de sayısal olarak yürütülmüştür. Deney ortamı Bursa Uludağ Üniversitesi'nde kurulmuştur ve deney ortamının absorpsiyonlu ısı pompası ile ısıtılması ve soğutulması sağlanmıştır. Isı enerji kaynağı olarak düzlemsel toplaç kullanılmıştır. Güneş enerjisinin yeterli olmadığı durumlarda destek sistemi olarak hava kaynaklı ısı pompası ve elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır. Simülasyon programı

olarak TRNSYS kullanılmıştır. Çalışma, Türkiye’de farklı iklim ve coğrafi koşullarda yer alan 10 farklı il için simülasyon sonuçlarının karşılaştırmasını da içermektedir. Çalışmada elde edilen verilere göre;

- Yardımcı enerji kaynağı olarak elektrikli ısıtıcı kullanımı, diğer seçeneklere göre daha avantajlıdır.
- Güneş enerjisi kullanımı 11974 kg CO<sub>2</sub> salımını engellemiştir, bu miktar 1296 TL’lik kazanç sağlamıştır ve güneş enerjisi kullanımı ile işletme maliyetinde de kazanç sağlanmıştır.
- Ağustos ayında tesir katsayısı, deneysel çalışmada 0.28 ve simülasyon çalışmasında 0.44 olarak tespit edilmiştir. Daha uzun soğutma sürelerinde sistem veriminin ve tesir katsayısının yükseldiği tespit edilmiştir.
- Dahili depolama sistemi ile güneş enerjisinden elde edilen ısı, absorpsiyonlu sistemin reaktör sıcaklığının yükselmesini, ekstra bir depolama sisteminin kullanılmamasını, dolayısıyla yatırım maliyetinin düşmesini ve daha fazla alana ihtiyaç duyulmamasını sağlamaktadır.
- Absorpsiyonlu sistemin bir ısı pompası olarak kullanımında tesir katsayısı deneysel uygulamada 1.48’dir. Tesir katsayısının yüksek olmaması nedeniyle absorpsiyonlu sistemin destek sistemi olarak kullanımının daha uygun olacağına karar verilmiştir.
- Yıllık soğutma ihtiyacının %99’u, ısıtma ihtiyacının %63’ü ve sıcak su ihtiyacının %99’u güneş enerjili sistem ile karşılanmıştır.
- Sistemin geri ödeme süresi 20 yıldır.

### 1.3 Tezin Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, bir binanın yenilikçi yöntemler ile işletilmesinin olumlu ve olası etkilerini ekonomi ve çevre tabanında incelemektir. Çalışmanın ele alınış yöntemi kısaca Eser Yeşil Bina’nın bina yüklerini çalışmanın girdisi olarak kullanılması, bu yüklerin karşılanabilmesi için oluşturulan melez sistem seçeneklerinin belli kısıtlar dahilinde optimum verimle kullanımı ve ekonomik yönlerden karar verme destek algoritmasının geliştirilerek en kısa geri ödeme süresini ve çevresel yönden de karbon dioksit salımının minimize edilmesinden oluşmaktadır. Bu çerçevede başlıca bina yüklerinin, soğutma, ısıtma, elektrik, sıcak su olduğu değerlendirilmiştir.



Çalışmanın 1. bölümünde, temel kavramlar, anahtar kelimeler kullanılarak ulusal ve uluslararası makaleler, tezler ve bildirilerin incelendiği literatür araştırması ile tezin amaç ve kapsamı verilmiştir.

Çalışmanın 2. bölümünde teknik, çevresel, ekonomik parametreler incelenmiş ve matematiksel model geliştirilmiştir. Bu kapsamda yenilikçi melez sistemi oluşturan güç dönüştürücü sistemler kara kutu olarak ele alınmıştır ve enerji kaynakları, transfer fonksiyonları, sistem çıktıları, yatırım maliyeti, işletme maliyeti, toplam maliyet, geri ödeme süresi ve karbon dioksit salımının azaltılması ile elde edilen kazanım üzerinde çalışılmıştır. Aynı zamanda bu bölümde Excel tabanlı simülasyon program algoritması oluşturulmuş ve simülasyon girdi simülasyon çıktı ekranları paylaşılmıştır. Yenilikçi melez bir sistemin kurulması için iklim bilgileri ile binanın yük bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Elde edilen bu bilgiler doğrultusunda simülasyon programının yardımı ile teknoekonomik ve çevresel analizi yapılarak son kullanıcıya çıktı ekranı sunulabilmektedir.

Çalışmanın 3. bölümünde Eser Yeşil Bina'nın yükleri ve mevcut güç dönüştürücü sistemleri dikkate alınarak Eser Yeşil Bina'nın yatırım maliyeti, işletme maliyeti, toplam maliyeti, toplam karbon dioksit salımı ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Aynı zamanda Eser Yeşil Bina'nın yüklerinin kullanıldığı iki farklı senaryo belirlenerek simülasyon programı yardımı ile teknoekonomik ve çevresel analizlere ulaşılmıştır.

Geleneksel sisteme karşılık geliştirilen yenilikçi melez sistemin özellikleri, son kullanıcıya sağladığı avantajları ve dezavantajları ile ileride yapılabilecek çalışmalar çalışmanın son bölümünü oluşturan sonuç ve öneriler bölümünde ayrıntılarıyla ele alınmıştır.

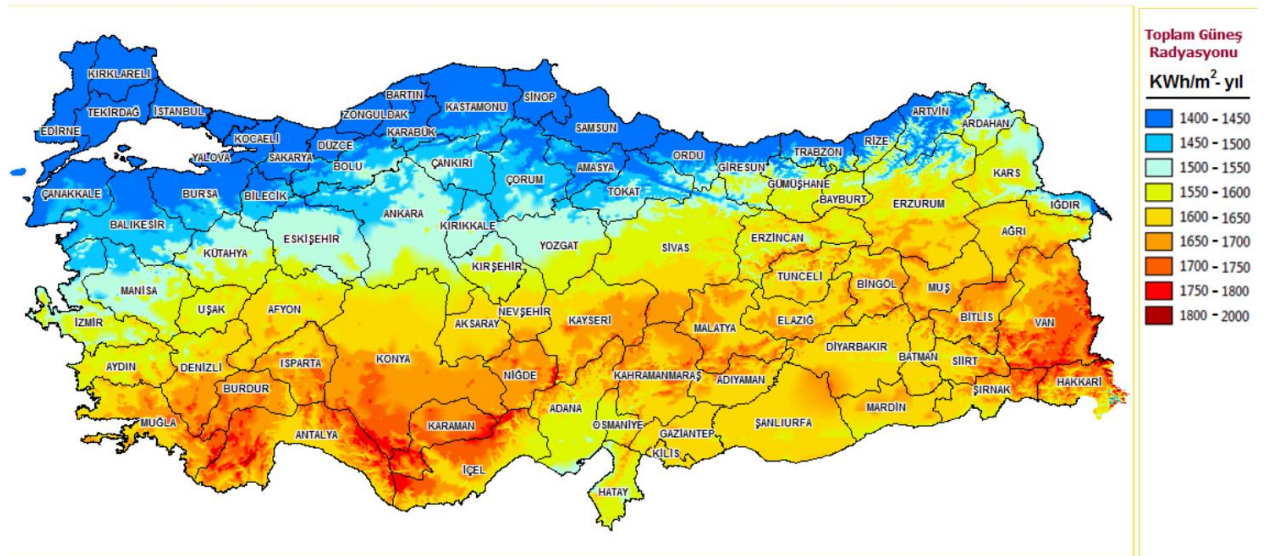
## 2 MATEMATİKSEL MODEL

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji, toprak ısı ve artık ısının kullanıldığı yenilikçi melez bir sistem oluşturulmuştur. Yenilikçi sistem, geleneksel sistem olarak bilinen ve bir binanın yüklerini karşılamak üzere enerji kaynağı doğalgaz ve şebeke elektriği olan sisteme alternatif olarak geliştirilmiştir. Yenilikçi sistem ile geri ödeme süresi ve karbon dioksit salımını minimize etmek son kullanıcının ihtiyaç duyduğu yükleri karşılamak üzere karar verme algoritmasının oluşturulması hedeflenmiştir. Bunu yaparken yenilikçi senaryolar geliştirilmiştir. Çalışmanın bu bölümünde melez sistemin teknik, çevresel ve ekonomik parametreleri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

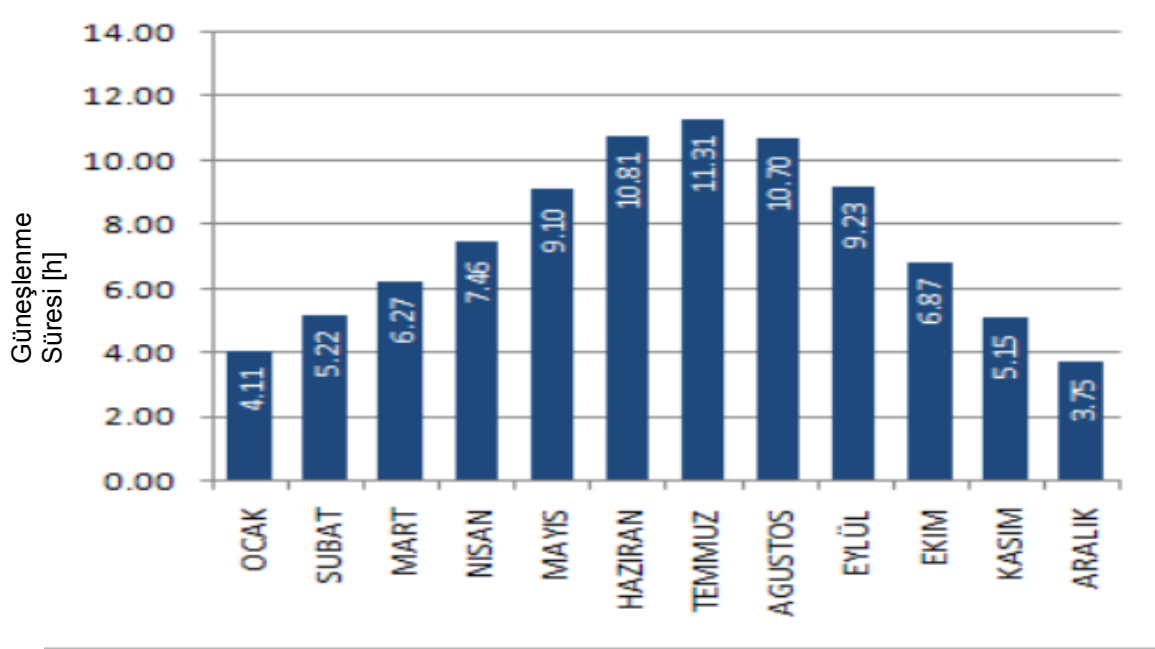
### 2.1 Teknik Parametreler

Çalışmada birlikte ısı güç sistemi ile yenilikçi enerji kaynaklarının kullanıldığı binalarda yükler, elektrik, ısıtma, soğutma ve sıcak su olarak belirlenmiştir. Yenilikçi sistemde, belirlenen yükleri karşılamak için kullanılacak güç dönüştürücü sistemlerin enerji kaynağı öncelikli olarak toprak ısı, yenilenebilir enerji ve artık ısıdır. Toprak sıcaklığı, derinlik arttıkça yükselir ve bu değer her bir metrede yaklaşık 0,03 °C'dir [18]. Zemin sıcaklığındaki bu değişim sayesinde ısıtma ve soğutma yapılabilmektedir. Binanın bulunduğu bölgeye bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, biyogaz, jeotermal enerji gibi çeşitlilik göstermektedir. Rüzgâr türbininin bina montajındaki zorluk ve şehir içi uygulamalarında istenilen rüzgar hızına ulaşmak için sınırlı bölgelerin uygun olması nedeniyle rüzgâr enerjisinin kullanımı zorlaşmaktadır. Aynı şekilde biyogaz enerjisinde, depolama sorunu ve şehir içi uygulamalarında karşılaşılabilecek zorluklar nedeniyle sürdürülebilir binalarda enerji kaynağı olarak kullanıma elverişli değildir. Jeotermal enerjiye ulaşım zorluğu nedeniyle sürdürülebilir binalarda kullanımı rüzgâr ve biyogaz enerjisinden çok farklı değildir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok tercih edilen kaynaklardan biri güneş enerjisidir. Güneş enerjisi ile elektrik, ısı ve sıcak su üretmek mümkündür. Güneş enerjisinin tercih edilmesinin sebepleri, tükenmeyen enerji kaynağı olmasının yanı sıra güneş enerji santrallerinin bakımı ve kurulumu diğer enerji tesislerine göre çok daha kolay olması, işletme maliyetlerinin çok düşük olması, şehir içi uygulamalarda ve bina montajında sağladığı kolaylıklar, güneşlenme miktarının düşük olması durumunda

bile kullanılabilir olması ile dayanıklı malzeme yapısı sayesinde zorlu hava koşullarına karşı koyabilmesi şeklinde sıralanabilir [19]. Güneş enerjisinin avantajlarının yanı sıra çok olmamakla birlikte dezavantajları da mevcuttur. Güneş enerjisinin elektrik üretmek amacıyla kullanılması durumunda, güneş enerji santrallerinin yatırım maliyetleri yükselir. Günümüzdeki güneş paneli teknolojisi ile güneş ışınlarının en fazla %12- 20'sini elektriğe çevirebilmektedir. Ancak güneş santrallerinden daha fazla enerji elde etmek istenirse bu durum daha fazla arazi kullanımına sebep olacaktır. Fotovoltaik panel üretimi tüm dünyada hızla ilerlemektedir ve bu gelişme güneş santrallerinin veriminin artırma konusunda umut vadetmektedir. Güneş enerjisinin dezavantajları fosil yakıtlı enerji kaynaklarının dezavantajları ile kıyaslandığında ihmal edilebilir düzeydedir [19]. Şekil 2.1, toplam güneş ışınımını dikkate alınarak Türkiye'nin güneşlenme haritasını göstermektedir. Şekil 2.2 saatlik verilere göre Türkiye'deki aylık güneşlenme sürelerini göstermektedir.



Şekil 2.1 Türkiye güneşlenme haritası [20]



Şekil 2.2 Aylara göre Türkiye'nin güneşlenme süreleri (saat) [20]

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi kullanılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden Ankara ilinin 2008-2017 yıllarına ait son 10 yılın aylara göre toplam güneş ışınımı ile güneşlenme süresi verileri alınmıştır.

Çizelge 2.1 Ankara ilinin son 10 yıla ait aylara göre toplam Güneş ışınım ortalaması ve toplam güneşlenme süresi

AYLAR	Toplam Güneş Işınım Ortalaması [kWh/m <sup>2</sup> ]	Toplam Güneşlenme Süresi [h]
OCAK	881,24	70,21
ŞUBAT	1400,87	101,53
MART	2201,87	134,05
NİSAN	2831,69	180,51
MAYIS	3193,09	206,01
HAZİRAN	3833,60	248,43
TEMMUZ	3997,75	303,71
AĞUSTOS	3609,42	293,77
EYLÜL	3031,31	256,05
EKİM	1843,90	184,28
KASIM	1143,89	126,36
ARALIK	866,02	81,81

Bina yüklerini karşılamak için kullanılan yenilikçi enerji kaynaklarının yetersiz kalması durumunda ise geleneksel sistem, destek sistemi olarak kullanılmak üzere

tasarlanmıştır. Geleneksel yöntemde doğalgaz ve şebeke elektriği olmak üzere başlıca iki enerji kaynağı vardır. Bina yüklerini karşılamak üzere kullanılacak yenilikçi güç dönüştürücülerinin kapasitesi bina yüklerinin baz değerlerine göre belirlenmiş olup, bina yüklerinin pik yüke ulaşması durumunda geleneksel güç dönüştürücüleri destek sistemi olacak şekilde bir model belirlenmiştir. Böylelikle yenilikçi güç dönüştürücü sistemler yıl boyunca sürekli kullanılacağından oluşturulan melez sistemin geri ödeme süresi kısılacaktır. Çalışmada bina yükleri yaz ve kış yükleri olarak sezonlara ayrılmıştır ve bu sayede bina yüklerinin analizi ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır.

### 2.1.1 Bina yükleri

Bina yükleri; binanın konumu, fiziksel şartlar ve talep gibi değişkenlere bağlıdır. Binanın konumunun bina yüklerine etkisi kapsamında; binaların Güneye bakan geniş bir alana sahip olması, Kuzeye bakan cephesine oranla daha fazla soğutma gerektirdiği ve aynı zamanda ısınma ihtiyacı doğduğunda da ısı yükünün azalacağı yapılan bir çok çalışma ile belirlenmiştir. Aynı şekilde binaların Kuzeye bakan geniş bir alana sahip olması ısıtma yükünü artırabilir ve soğutma yükünü de ihtiyaca bağlı olarak düşürebilir. Bu sebeptendir ki binanın konumu, bina yüklerinin karşılanması için kurulacak sistemin optimizasyonda büyük önem taşımaktadır. Fiziksel şartların bina yüklerine etkisi bağlamında; binanın bulunduğu bölgedeki hava şartları, binanın alanı, binada bulunan kişi sayısı vb unsurlar değerlendirilebilir. Bina yükleri karşılanırken, bina yüklerini azaltmaya yönelik önlemler de alınabilir. Bu bağlamda enerjinin etkin kullanımı için aşağıda tasarım ve kurulum sırasında göz önünde bulundurulacak konular yer almaktadır. Bunlar;

- Duvarlar, pencereler, çatı vb bileşenlerde ısı yalıtımı yapılması,
- Isı köprüler ve diğer enerji sızıntılarının ortadan kaldırılması,
- Havalandırma yoluyla ısı kayıpların azaltılması,
- Optimize edilmiş elektrik yönetimi (kurulu güç oranlarının azaltılması, merkezi yönetim, aydınlatma kontrol ekipmanı kullanımı vb.) [21].

Yapılan çalışmada bir binanın yükleri elektrik, ısıtma, soğutma ve sıcak su olarak belirlenmiştir. Binalardaki ısı ihtiyacı ısı kayıpları, soğu ihtiyacı ısı kazancı ve elektrik ihtiyacı da aydınlatma ile cihazların kullanımı sebebiyle ortaya çıkmaktadır.

Çalışma kapsamında bina yükleri hesaplanması yer almamaktadır, Eser Yeşil Bina'nın bina yükleri çalışmanın girdisi olarak kullanılacaktır.

### 2.1.2 Güç dönüştürücüleri

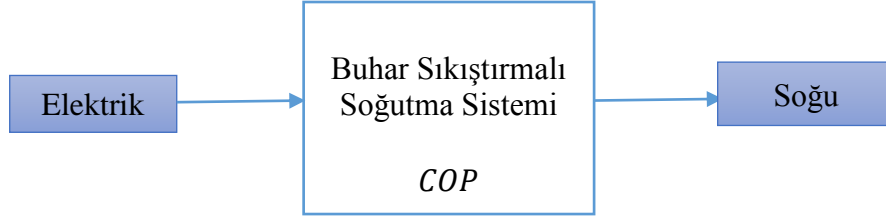
Enerji kaynaklarını anlamlı bir çıktıya dönüştürmek için kullanılan ve kara kutu olarak tanımlanan güç dönüştürücüleri, transfer fonksiyonları ile parametreler bu bölümde ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiştir. Değerlendirmede yenilikçi yöntem ve geleneksel yöntem olmak üzere iki farklı yaklaşım kullanılmıştır.

#### 2.1.2.1 Geleneksel yöntemde kullanılan güç dönüştürücüleri

Geleneksel yöntemde, aydınlatma ve binada bulunan cihazlar için ihtiyaç duyulan elektrik talebinin karşılanması için şebeke elektriği, soğutma talebinin karşılanması için enerji kaynağı yine şebeke elektriği olan buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi, ısıtma ve sıcak su taleplerinin karşılanması için enerji kaynağı doğalgaz olan kazan kullanılmaktadır. Aşağıda sırasıyla Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi ve kazanın özellikleri, kara kutu gösterimi, transfer fonksiyonları ile parametreler incelenmiştir.

#### Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi

Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi (*CH*), elektrik tahrikli soğutma yapan bir sistemdir. Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri, oldukça yaygındır ve dünyada tüketilen elektriğin yaklaşık % 15'ini oluşturmaktadır, bunun bir sonucu olarak da toplam karbon dioksit salımının % 4.5'i doğrudan buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri ile alakalıdır [22]. Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemlerinin soğutma gücü 10 MW'a kadar ulaşabilir [22]. Elektrik tahrikli soğutucular ile ısı enerjisi kullanan soğutma sistemlerinin tesir katsayılarının doğrudan karşılaştırılması, giren enerji nitelikleri birbirinden farklı olduğu için yanıltıcı sonuç verebilir [11]. Buhar sıkıştırımlı soğutma sistemleri, konutlar ve endüstriyel tesisler için iklimlendirme ve soğuk hava depolaması gibi alanlarda kullanılmaktadır [22].



Şekil 2.3 Buhar sıkıştırma soğutma sistemi kara kutu gösterimi

Buhar sıkıştırma soğutma sistemi için 2.1 numaralı denklemde tanımlanan tesir kat sayısı ( $COP$ ), elde edilen soğutma gücünün ( $\dot{Q}_c$ ), giren toplam elektrik gücüne ( $\dot{W}$ ) oranı olarak tanımlanmaktadır. Buhar sıkıştırma soğutma sisteminin tesir katsayısı sabit değildir, ancak yapılan çalışmada işlem kolaylığı sağlaması açısından tesir katsayısının sabit olduğu varsayılmıştır.

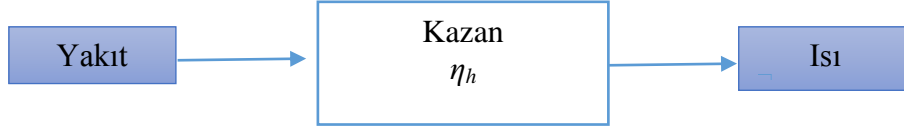
$$COP = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}} \quad (3.1)$$

Çizelge.2.2 Buhar sıkıştırma soğutma sistemi parametreleri

Dönüştürücü	Girdi	Parametre	Birim
$CH$	Elektrik	Soğutma Kapasitesi	kW
		Tesir Katsayısı	-
		İlk yatırım Maliyeti	\$

### Kazan

Kazan ( $KA$ ), doğal gazı ısıya dönüştürme amacı ile kullanılır. Doğalgazın ısı üretimi, apartmanlarda veya büyük kapasiteli ısı santrallerinde kullanılmaya başlanması ile ısı üretim ve kullanım tekniğinde kapasite ve verim artışı gözlenmiştir [23]. Kazanda enerji kaynağı olarak doğalgaz kullanılması sebebiyle karbon dioksit salımı diğer güç dönüştürücü sistemlerden daha yüksektir [23]. Kazanlarda kaskat kullanımı enerji verimliliği açısından önem taşımaktadır. Kaskat sayısı ile daha büyük kapasiteli bir kazan kullanmak yerine daha küçük kapasiteli birden fazla kazan kullanılarak kazanın işletme maliyeti düşürülmektedir. Şekil 2.4'de kazanın kara kutu çizimi yer almaktadır. Sistemin ana girdisi doğalgaz ve ana çıktısı ısıdır.



Şekil 2.4 Kazan kara kutu gösterimi

Kazan ünitesi için 2.2 numaralı denklemde tanımlanan kazan verimi ( $n_h$ ), elde edilen ısıl gücün ( $\dot{Q}_h$ ), kazanda yakılan yakıtın gücüne ( $\dot{Q}_F$ ) oranıdır. Kazan verimi sabit değildir, ancak yapılan çalışmada işlem kolaylığı sağlaması açısından sabit alınmıştır.

$$n_h = \frac{\dot{Q}_h}{\dot{Q}_F} \quad (2.2)$$

Çizelge 2.3 Kazan parametreleri

Dönüştürücü	Girdi	Parametre	Birim
KA	Yakıt	Kapasite	kW
		Kaskat Sayısı	-
		Kazan Verimi	-
		Yakıt Maliyeti	\$
		İlk yatırım Maliyeti	\$

### 3.1.2.1 Yenilikçi yöntemde kullanılan güç dönüştürücüleri

Yenilikçi yöntemde, binanın elektrik, ısıtma, soğutma ve sıcak su yüklerini karşılamak üzere kullanılacak güç dönüştürücüleri Çizelge 2.4'te paylaşılmıştır. Yenilikçi yöntemde kullanılan bu güç dönüştürücü sistemlerinin enerji kaynağı güneş enerjisi, toprak ısı ve artık ısıdır. Bu bölümde, yenilikçi güç dönüştürücü sistemlerinin kara kutu gösterimi, transfer fonksiyonları ve parametreleri incelenmiştir.



Çizelge 2.4 Yenilikçi yöntemde bina yüklerinin karşılanmasında kullanılabilir güç dönüştürücüleri

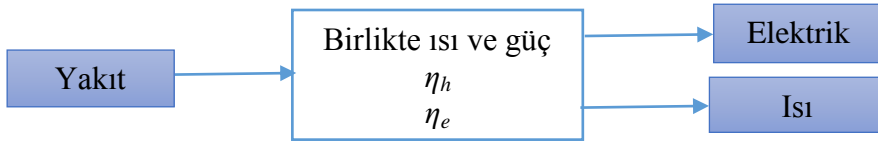
Güç Dönüştürücüleri	Bina Yükleri			
	Elektrik	Isıtma	Soğutma	Sıcak Su
Birlikte Isı ve Güç Sistemi	+	+		+
Düzlemsel Toplaç		+		+
Fotovoltaik Panel	+			
Fotovoltaik Isı Melez Panel	+	+		+
Toprak Kaynaklı Isı Pompası		+	+	+
Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi			+	
Adsorpsiyonlu Soğutma Sistemi			+	
Desikant Nem Alma Sistemi			+	
Değişken Soğutucu Akışkan Debili Klima Sistemi			+	

#### Birlikte ısı ve güç sistemi

Birlikte ısı ve güç sistemi (*BIG*), aynı anda elektrik ve ısı sağlayan güç dönüştürücü sistemdir [24]. Avrupa ülkelerinde 2010 yılında birlikte ısı ve güç sisteminin kurulu gücü 105 GW'a ulaşmıştır ve 2012 yılında ABD'de birlikte ısı ve güç sisteminin kurulu gücü 82 GW'tır. Birlikte ısı ve güç sisteminin toplam elektrik üretim şemasındaki payı hala nispeten düşüktür ve bu amaçla Avrupa ülkeleri ile ABD, Rusya, Japonya, Brezilya yüksek verimli küçük ölçekli sistemlerin önem kazanması için enerji politikalarını düzenlemişlerdir [25]. Birlikte ısı ve güç sisteminin kullanımı, ısı ve elektrik enerjisine aynı anda ihtiyaç duyan bina veya tesisler için uygundur. Isı ve elektrik, birlikte ısı ve güç sistemi tarafından sabit olarak farklı kapasitelerde üretilir yani ısı kullanılmaz ise elektrik üretimi de yoktur. Elektrik üretilmez ise tasarruf yapılamaz ve tasarrufun olmaması durumunda birlikte ısı ve güç sisteminin ilk yatırım maliyeti yüksek olduğu için birlikte ısı ve güç sisteminin kullanımı avantajlı olmayacaktır. Birlikte ısı ve güç sisteminde ilk hedef elektrik üretimi olmalıdır, elektrik üretilirken de ısıdan faydalanmak gerekmektedir. Aksi takdirde enerji tasarrufu sağlanamaz [26]. Bu amaçla birlikte ısı ve güç sisteminden verimli bir şekilde faydalanmak için hem ısı hem de elektrik üretimi gerçekleştirilmeli ve elektrik ısı oranı en az %40 olmalıdır. Bu çalışmada elektrik ısı oranı (C) %80 olarak alınmıştır. Birlikte ısı ve güç sisteminin kapasitesi yük ile

değişiklik göstermektedir. Birlikte ısı ve güç sisteminden elde edilen artık ısı enerjisi ısıtma, soğutma veya sıcak su ihtiyacını karşılamada kullanılır ve birlikte ısı ve güç sisteminden ortalama %90'lık bir verim elde edilir.

Şekil 2.5'te birlikte ısı güç sisteminin kara kutu çizimi yer almaktadır. Birlikte ısı ve güç sistemi için transfer fonksiyonu ve modellemenin temelini oluşturacak parametreler aşağıda yer almaktadır. Sistemin ana girdisi doğalgaz ve ana çıktısı ise elektrik ile ısıdır.



Şekil 2.5 Birlikte ısı ve güç sistemi kara kutu gösterimi

Birlikte ısı ve güç ünitesi için 2.3 ve 2.4 numaralı denklemlerle tanımlanan elektriksel verim ( $n_e$ ), elektriksel gücün ( $\dot{W}$ ), birlikte ısı ve güç sisteminde yakılan yakıtın gücüne ( $\dot{Q}_F$ ) oranıdır ve aynı şekilde ısı verim ( $n_h$ ) birlikte ısı ve güç sisteminden elde edilen ısı gücün ( $\dot{Q}_h$ ), birlikte ısı ve güç sisteminde yakılan yakıtın gücüne ( $\dot{Q}_F$ ) oranıdır.

$$n_e = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_F} \quad (2.3)$$

$$n_h = \frac{\dot{Q}_h}{\dot{Q}_F} \quad (2.4)$$

Çizelge 2.5 Birlikte ısı ve güç sistemi parametreleri

Dönüştürücü	Girdi	Parametre	Birim
BIG	Yakıt	Seçilen Elektrik Güç Kapasitesi	kWh
		Pik Elektrik Yüğü	kW
		Elektrik Isı Oranı (C)	-
		Pik Isı Yüğü	kW
		Birincil enerji kazanım oranı (PASS)	-
		Yakıt Gideri	\$
		İlk Yatırım Maliyeti	\$

### Absorpsiyonlu soğutma sistemi

Absorpsiyonlu soğutma sistemi (ABS), tek etkili, çift etkili ve üçlü etkili sistemler olarak etki sayısına göre sınıflandırılabilirler ve bu ayırım ısının absorpsiyon sistemi içinde kaç kez kullanıldığına dayanır [25]. Son zamanlarda, 30 kW'tan daha düşük soğutma kapasitesine sahip küçük ölçekli, tek etkili soğutma sistemleri çeşitli markalar tarafından piyasaya sunulmuştur [27, 28]. Antonyraj (2012) yapmış olduğu çalışmada belirlediği tek etkili, çift etkili ve üç etkili absorpsiyonlu sistemlerin performans katsayıları Çizelge 2.6'da paylaşılmıştır [29].

Çizelge 2.6 Absorpsiyonlu soğutma sistemi etkilerinin performans katsayısına etkisi

	Tek Etkili Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi	Çift Etkili Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi	Üç Etkili Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi
COP	0.6-0.8/1.0	1.0/2.0	1.4-1.6/2.0
Sıcaklık [°C]	80-120	140-190	190<

Absorpsiyonlu soğutma sistemleri, iklimlendirme uygulamalarında tek başlarına kullanılacakları gibi başka bir sisteme destek sağlaması amacıyla da kullanılabilirler [25]. Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde ısı kaynağı olarak kazan, düzlemsel toplaç, birlikte ısı ve güç sistemi kullanımı uygundur. Absorpsiyonlu soğutma sistemleri gıda endüstrisi, kimya endüstrisi, konut ve ticari binaların soğutulması gibi alanlarda kullanılmaktadır. Absorpsiyonlu soğutma sisteminin çalışması için aşağıda belirtildiği üzere bazı kısıtlar bulunmaktadır. Bunlar;

- Tek etkili absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin çalışma sıcaklığı 80 °C-120 °C civarındadır ve akışkanın giriş sıcaklığı 80 °C'nin altına düşmesi durumunda sistem kapatılmalıdır [25].
- Arora ve Kaushik [30] ile Gomri [31] yapmış oldukları çalışmada, iki etkili absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin çalışma sıcaklığını 140-190 °C arasında, üç etkili absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin çalışma sıcaklığını 190 °C'nin üzerinde olduğunu belirlemişlerdir.

- Absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde kristallenme problemine dikkat edilmelidir, bu sebeple soğutma suyu sıcaklık değeri büyük önem taşımaktadır [25].
- Absorpsiyonlu sistemlerde kullanılan çalışma çiftlerinin donma noktalarına bağlı olarak ortam sıcaklığına dikkat edilmelidir, aksi takdirde bu durum çalışma çiftlerinin donmasına sebep olabilir.
- Sistem verimini ve kapasitesini maksimize etmek için, soğutma suyu sıcaklığı kısıtlar dahilinde en düşük seviyede tutulmalıdır [25].

Şekil 2.6'da absorpsiyonlu soğutma sisteminin kara kutu çizimi yer almaktadır. Sistemin ana girdisi ısıdır, ancak sistemdeki pompaların çalışması için ihmal edilebilir düzeyde elektrik girdisine ihtiyaç vardır.



Şekil 2.6 Absorpsiyonlu soğutma sistemi kara kutu gösterimi

Absorpsiyonlu soğutma ünitesi için 2.5 numaralı denklemde tanımlanan tesir kat sayısı ( $COP$ ), elde edilen soğutma gücünün ( $\dot{Q}_c$ ), giren ısı güce ( $\dot{Q}_h$ ) oranıdır. Absorpsiyonlu soğutma sisteminde tesir katsayısı sabit değildir, ancak yapılan çalışmada işlem kolaylığı sağlaması açısından tesir katsayısının sabit olduğu varsayılmıştır.

$$COP = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_h} \quad (2.5)$$

Çizelge 2.7 Adsorpsiyonlu soğutma sistemi parametreleri

Dönüştürücü	Girdi	Parametre	Birim
ABS	Isı Elektrik	Soğutma Kapasitesi	kW
		Etki Sayısı	-
		Akışkanın Çıkış Sıcaklığı	°C
		Tesir kat sayısı	-
		İlk Yatırım Maliyeti	\$

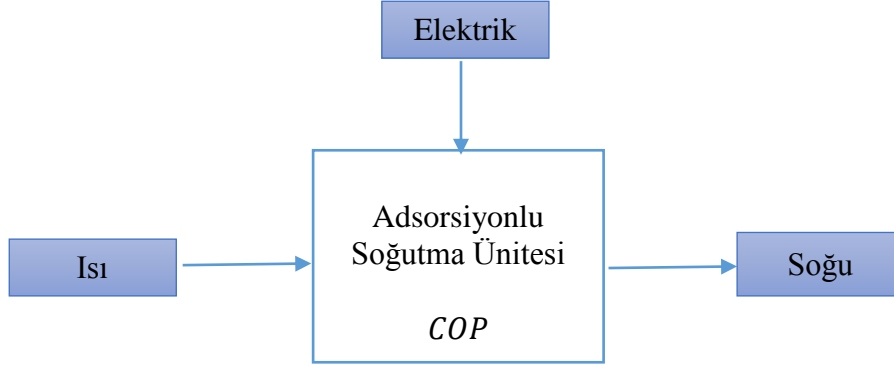
#### Adsorpsiyonlu soğutma sistemi

Adsorpsiyonlu soğutma sistemi (ADS), binalardaki soğutma yükünü karşılamak için başvurulabilecek diğer bir yöntemdir. Adsorpsiyonlu soğutma sistemleri de adsorpsiyonlu sistemlere benzer olarak tek etkili ve çok etkili olarak kendi içinde ayrılmaktadır [32]. Tek etkili adsorpsiyonlu soğutma sistemleri, kesikli çalışan sistemlerdir ve bu durumda sürekli soğutma elde etmeyi engellemektedir. Etki sayısının artırılması sürekli soğutma eldesi sağlamaktadır ve sürekli çalışan sistemin performans kat sayısı kesikli sisteme göre daha yüksektir [25]. 15 kW'dan daha az soğutma kapasitesine sahip küçük ölçekli adsorpsiyon soğutma üniteleri, farklı markalar tarafından piyasaya sürülmüştür [25]. Adsorpsiyonlu sistemlerle benzer olarak adsorpsiyonlu soğutma sistemlerinde de ısı kaynağı olarak kazan, düzlemsel toplaç, birlikte ısı ve güç sistemi kullanımı uygundur. Adsorpsiyonlu soğutma sistemleri iklimlendirme uygulamalarında tek başlarına kullanılabilecekleri gibi başka bir sisteme destek sağlaması amacıyla gıda endüstrisi, kimya endüstrisi, konut ve ticari binaların soğutulması gibi alanlarda kullanılmaktadır. Adsorpsiyonlu soğutma sisteminin çalışmasını etkileyen kısıtlar aşağıdaki şekilde sıralanmıştır. Bunlar;

- Adsorpsiyonlu sistemlerde kullanılan akışkanın buharlaşma sıcaklığına bağlı olarak giriş sıcaklığının belirlenmesi gerekmektedir, buharlaşma sıcaklığının üzerinde sistemin çalıştırılması durumunda pompa emişinde akışkanın buharlaşarak pompaya zarar verme riski vardır [25].
- Adsorpsiyonlu sistemlerde kullanılan çalışma çiftlerinin donma noktalarına bağlı olarak ortam sıcaklığının, çalışma çiftlerinin donma noktasının altına düşmesi çalışma çiftlerinin donmasına sebep olabilir.

- Sistem verimini ve kapasitesini maksimize etmek için, soğutma suyu sıcaklığı kısıtlar dahilinde en düşük seviyede tutulmalıdır [25].

Aşağıdaki çizimde adsorpsiyonlu soğutma sisteminin kara kutu çizimi yer almaktadır. Sistemin ana girdisi ısıdır, ancak sistemdeki pompaların çalışması için ihmal edilebilir düzeyde elektrik girdisine ihtiyaç vardır. Sistemin çıktısı soğudur.



Şekil 2.7 Adsorpsiyonlu soğutma sistemi kara kutu gösterimi

Adsorpsiyonlu soğutma ünitesi için 2.6 numaralı denklemde tanımlanan tesir kat sayısı ( $COP$ ), elde edilen soğutma gücünün ( $\dot{Q}_c$ ), giren ısı güce ( $\dot{Q}_h$ ) oranıdır. Adsorpsiyonlu soğutma sisteminde tesir katsayısı sabit değildir, ancak yapılan çalışmada işlem kolaylığı sağlaması açısından tesir katsayısının sabit olduğu varsayılmıştır.

$$COP = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_h} \quad (2.6)$$

Çizelge 2.8 Adsorpsiyonlu soğutma sistemi parametreleri

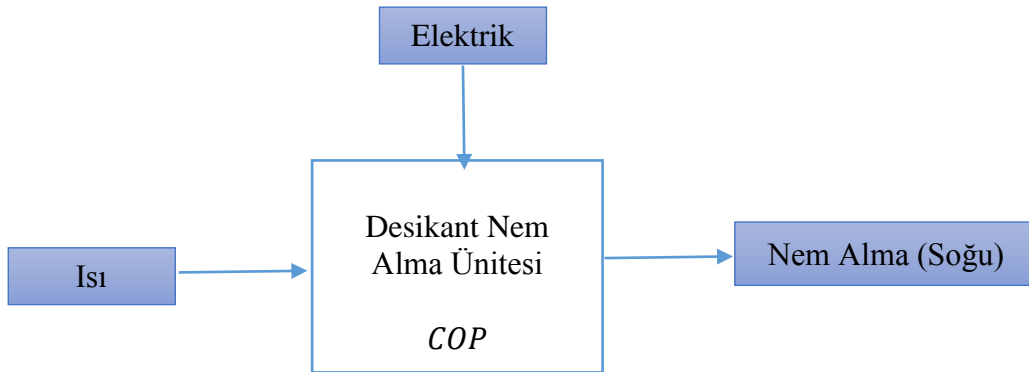
Dönüştürücü	Girdi	Parametre	Birim
ADS	Isı Elektrik	Soğutma Kapasitesi	kW
		Etki Sayısı	-
		Akışkanın Çıkış Sıcaklığı	°C
		Tesir kat sayısı	-
		İlk Yatırım Maliyeti	\$

### Desikant nem alma sistemi

Desikant ( $DSK$ ), diğer soğutma sistemlerine alternatif olarak kullanılabilen, yaygın olmayan ve üzerinde çalışmaların devam ettiği bir nem alma sistemidir.

Bunun yanı sıra diğer soğutma sistemlerine göre sistemin temel çalışma prensibinden dolayı yüksek enerji verimliliğine sahiptir. Desikant nem alma sistemi katı kurutucu sistemler ve sıvı kurutucu sistemler olarak ikiye ayrılır; bu sistemlerin her ikisi de çoğunlukla hava nemi kontrolü ile binalarda ısı konfor ve iç mekan hava kalitesi sağlamak için kullanılır [25]. Katı kurutucu sistemler, sıvı kurutucu sistemlere oranla daha fazla uygulama alanına sahiptir, bu durum katı kurutucu sistemlerin çalışma esnekliği, soğutma için düşük sıcaklık kaynaklarının da kullanılabilir olması ve basınç düşüşünün daha az olması ile açıklanabilir [33, 34]. Desikant nem alma sisteminde ısı kaynağı olarak, kazan, düzlemsel toplaç, birlikte ısı ve güç sistemi kullanımı uygundur.

Şekil 2.8’de desikant nem alma sisteminin kara kutu çizimi yer almaktadır. Sistemin ana girdisi ısıdır ve ana çıktısı nemin uzaklaştırılmasıdır (soğu), ancak sistemdeki pompaların çalışması için ihmal edilebilir düzeyde de olsa elektrik girdisine ihtiyaç vardır.



Şekil 2.8 Desikant nem alma ünitesi kara kutu gösterimi

Desikant nem alma ünitesi için 2.7 numaralı denklemde tanımlanan tesir kat sayısı ( $COP$ ), elde edilen soğutma gücünün ( $\dot{Q}_c$ ), giren ısı güce ( $\dot{Q}_h$ ) oranıdır. Desikant nem alma ünitesinde tesir katsayısı sabit değildir, ancak yapılan çalışmada işlem kolaylığı sağlaması açısından tesir katsayısının sabit olduğu varsayılmıştır.

$$COP = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_h} \quad (2.7)$$

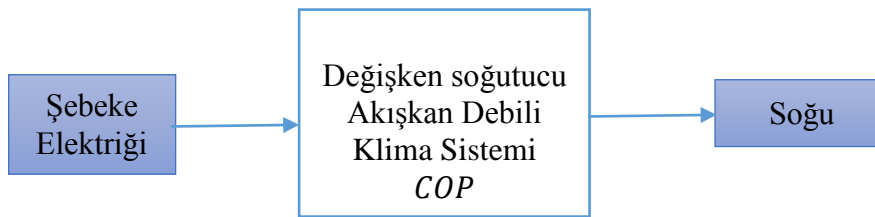
Çizelge 2.9 Desikant soğutma sistemi parametreleri

Dönüştürücü	Girdi	Parametre	Birim
DSK	Isı Elektrik	Soğutma Kapasitesi	kW
		Tesir kat sayısı	-
		Giren Isı Sıcaklığı	°C
		İlk Yatırım Maliyeti	\$

#### Değişken soğutucu akışkan debili klima sistemi

Değişken soğutucu akışkan debili klima sistemi (*VRF*), bir dış ünite yardımı ile birden fazla iç ünitenin kontrol edilmesine olanak sağlar [35]. Bu sistemler binanın yıllık enerji harcamalarında, kontrol sistemleri sayesinde % 30'lara varan enerji tasarrufu sağlamaktadır [35]. Isı pompası olarak çalışan bu sistemin kontrol sistemi ve yazılımı büyük önem taşımaktadır. Sistem üzerindeki belirli noktalardan elde edilen veriler sürekli olarak işlenerek optimum koşullarda cihazın çalışması sağlanır. *VRF* ile yapılan soğutma uygulamaları, *DX* bataryalı klima santrali uygulamaları olarak anılmaktadır ve bu sistemlerin son yıllarda hızla pazar payı artmaktadır. Ofisler, alışveriş merkezleri, apartmanlar, villalar, restoranlar, plazalar, oteller gibi birbirinden bağımsız havalandırma uygulamalarına ihtiyaç duyulan yerlerde tercih edilmektedir.

Şekil 2.9'da değişken soğutucu akışkan debili klima sisteminin kara kutu çizimi yer almaktadır.



Şekil 2.9 Değişken soğutucu akışkan debili klima sistemi kara kutu gösterimi

Değişken soğutucu akışkan debili klima sistemi için 2.8 numaralı denklemde tanımlanan tesir kat sayısı (*COP*), elde edilen soğutma gücünün ( $\dot{Q}_c$ ), giren toplam elektrik gücüne ( $\dot{W}$ ) oranı olarak tanımlanmaktadır. Değişken soğutucu akışkan debili klima sisteminin tesir katsayısı sabit değildir, ancak yapılan çalışmada işlem kolaylığı sağlaması açısından tesir katsayısının sabit olduğu varsayılmıştır.



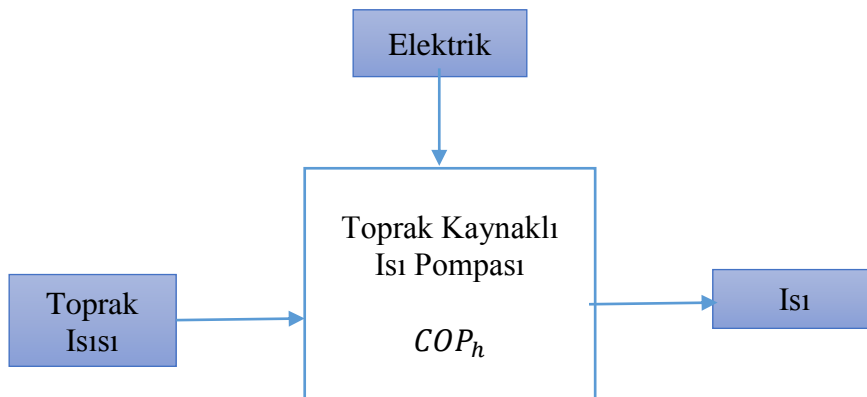
$$COP = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}} \quad (2.8)$$

Çizelge 2.10 Değişken soğutucu akışkan debili klima sistemi parametreleri

Dönüştürücü	Girdi	Parametre	Birim
VRF	Elektrik	Soğutma Kapasitesi	kW
		Tesir Katsayısı	-
		İlk Yatırım Maliyeti	\$

### Toprak kaynaklı ısı pompası

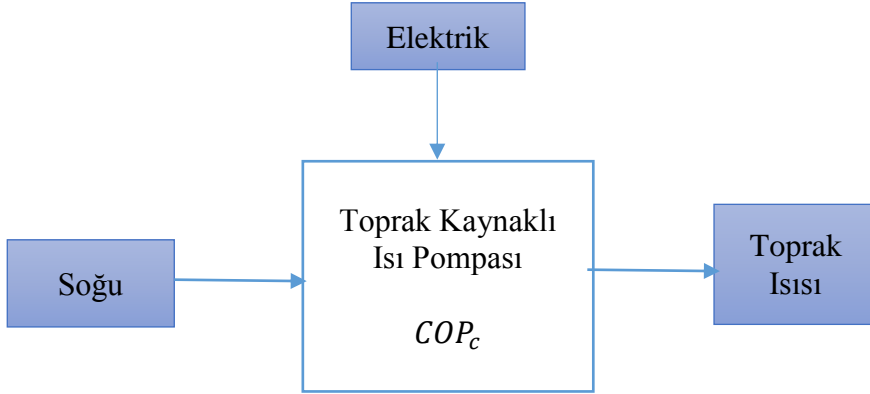
Toprak kaynaklı ısı pompası (TKIP), bir ısı eşanjörü aracılığıyla topraktan ısıyı çekerek ısıtma veya iç ortamdaki fazla ısıyı toprağa enjekte ederek soğutma sağlayan cihazlardır. Bina yüklerinde sadece ısıtma ya da sadece soğutma yükü hakim olursa, topraktaki yükler dengelenemez ve yıl boyunca zemin sıcaklığı azalır veya artar. Toprak kaynaklı ısı pompasının verimli çalışması ısıtma ve soğutma yüklerinin bir dengeye sahip olması ile mümkün olacaktır [18]. Toprak kaynaklı ısı pompasının kurulacağı zemin özellikleri de sistemin verimini doğrudan etkilemektedir. Toprak kaynaklı ısı pompasının kurulacağı zemin kil vb özellikler gösteren ve düşük, orta ısı iletkenlik değerine sahip bir yapıda ise toprak kaynaklı ısı pompasının tek başına yeterli olması mümkün olmayacaktır. Bu durumda toprak kaynaklı ısı pompası, bir destek sistemine ihtiyaç duyacaktır [36]. Aynı zamanda toprak kaynaklı ısı pompasının bir destek sistemi ile birlikte kullanılması kuyu derinliğinin de azalmasına yardım edecektir. Aşağıda, Şekil 2.10 ve Şekil 2.11 toprak kaynaklı ısı pompasının ısı eldesi ve soğu eldesi için kullanımının sırasıyla kara kutu çizimini göstermektedir.



Şekil 2.10 Toprak kaynaklı ısı pompasının ısı eldesi için kara kutu gösterimi

Toprak kaynaklı ısı pompası için 2.9 numaralı denklemde tanımlanan ısıtma tesir katsayısı ( $COP_h$ ), elde edilen ısı gücün ( $\dot{Q}_h$ ), toprak kaynaklı ısı pompasının kompresöründe tüketilen elektrik gücüne ( $\dot{W}$ ) oranıdır.

$$COP_h = \frac{\dot{Q}_h}{\dot{W}} \quad (2.9)$$



Şekil 2.11 Toprak kaynaklı ısı pompasının soğu eldesi için kara kutu gösterimi

Toprak kaynaklı ısı pompasında 2.10 numaralı denklemde tanımlanan soğutma tesir katsayısı ( $COP_c$ ), elde edilen soğutma gücünün ( $\dot{Q}_c$ ), toprak kaynaklı ısı pompasının kompresöründe tüketilen elektrik gücüne ( $\dot{W}$ ) oranıdır. Her ne kadar toprak kaynaklı ısı pompasının tesir katsayısı toprak sıcaklığına bağlı olarak değişse de, bu çalışmada tesir katsayısının sabit olduğu varsayılmıştır.

$$COP_c = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}} \quad (2.10)$$

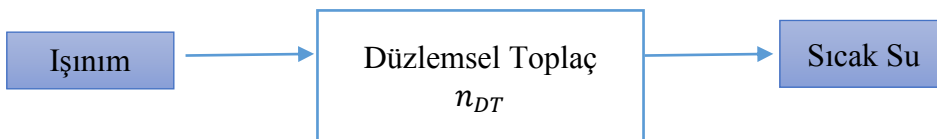
Çizelge 2.11 Toprak kaynaklı ısı pompası parametreleri

Dönüştürücü	Girdi	Parametre	Birim
TKIP	Elektrik	Toprak Sıcaklığı	°C
		Cihaz Soğutma Kapasitesi	kW
		Cihaz Soğutma Kapasitesi	kW
		Ortam Sıcaklığı	°C
		Soğutma Tesir Kat Sayısı	-
		Isıtma Tesir Kat Sayısı	-
		İlk yatırım Maliyeti	\$

### Düzlemsel toplaç

Düzlemsel toplaç ( $DT$ ), aktif güneş ısıtma sistemleri içinde en yaygın kullanılan ve önemli bir yere sahip olan toplaç türüdür. Düzlemsel toplaç, temelde cam veya plastik malzemeden oluşan saydam tabaka (cam) ve koyu renkli bir yutucu yüzey ile yalıtılmış bir metal kutudan oluşmaktadır [37, 38]. Yutucu yüzey mümkün olan en fazla miktardaki güneş ışınımı emerek, ışınsal ısıyı iş akışkanına aktarır. Düzlemsel toplaçların hareketli parçası olmadığından dolayı bakımı kolaydır ve işletme maliyeti görece daha düşüktür. Düzlemsel toplaçlar toplam ışıınımdan faydalanmaktadır. Düzlemsel toplaçlar, genellikle binaların güney cephesine, belli bir eğimle monte edilirler ve bu sayede gün boyunca daha fazla ışıınımlı emilimi sağlar [38]. Düzlemsel toplaçlarda dolaşımdaki akışkanın çıkış sıcaklığı yaklaşık olarak  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir [37]. Düzlemsel toplaçlar, sıcak su eldesi, bina, havuz ve sera ısıtması ile düşük performanslı soğutma sistemlerinde kullanılabilirler.

Şekil 2.12'de düzlemsel toplaç için kara kutu çizimi yer almaktadır. Sistemin ana girdisi yüzeye dik ışıınımlı, ana çıktısı ise ısıdır.



Şekil 2.12 Düzlemsel toplaç kara kutu gösterimi

Düzlemsel toplaç için 2.11 numaralı denklemde tanımlanan toplaç verimi ( $n_{DT}$ ), elde edilen ısı gücün ( $\dot{Q}_h$ ), giren toplam ışınım oranı ( $I$ ) ile ifade edilmektedir. Düzlemsel toplaçın verimi iş akışkanının giriş sıcaklığına bağlı değişmesine karşın, yapılan çalışmada işlem kolaylığı sağlaması açısından sabit olduğu kabul edilmiştir.

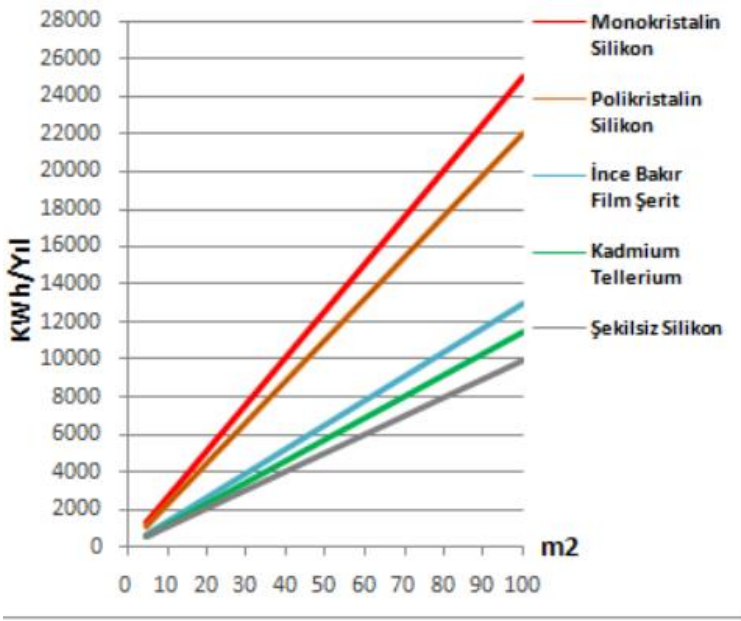
$$n_{DT} = \frac{\dot{Q}_h}{I} \quad (2.11)$$

Çizelge 2.12 Düzlemsel toplaç parametreleri

Dönüştürücü	Girdi	Parametre	Birim
$DT$	Güneşsel Işınım	Toplam Işınım	kWh/ m <sup>2</sup> / Yıl
		Yüzey alanı	m <sup>2</sup>
		Toplaç Verimi	-
		İlk yatırım Maliyeti	\$

#### Fotovoltaik panel

Fotovoltaik panel (PV), güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştüren sürdürülebilir bir teknolojidir [39, 40]. Fotovoltaik panelin ticari uygulamalarda elektrik enerjisini dönüştürme oranı % 6- 20 oranındadır [41]. Fotovoltaik paneller, yayılı ışınım da çalışır, ancak bulutlu hava koşullarından etkileniyor olması bu sistemin dezavantajlarından biridir [38]. Almanya, Kanada gibi çeşitli ülkelerde devlet desteği ile fotovoltaik panellerin kurulu kapasiteleri % 40 oranına ulaşmıştır [42]. Aynı zamanda fotovoltaik paneller, birlikte ısı ve güç sistemlerine entegre edilebilirler, bu sayede birlikte ısı ve güç sistemlerinin kapasitesini ve emisyon değerleri düşürmekle birlikte fotovoltaik panelin güneş kaynaklı kesikli çalışması ile ortaya çıkan enerji kaybının da önüne geçilir [43, 44]. Fotovoltaik panellerin elektrik üretim kapasitesini, göze tipi doğrudan etkilemektedir. Şekil 2.13'te göze tiplerinin yıllık elektrik üretim kapasitesine etkisi gösterilmiştir. Yapılan bu çalışmaya göre aynı aynı yüzey alanında en fazla elektrik üretim kapasitesine sahip göze tipi monokristalin silikon, en az elektrik üretim kapasitesine sahip göze tipi şekilsiz silikon olduğu belirlenmiştir [20].



Şekil 2.13 Fotovoltaik panellerde göze tipine göre birim yüzey alanında üretilen yıllık üretilen elektrik miktarı (kwh-yıl) [20]

Şekil 2.14'te fotovoltaik panel kara kutu çizimi yer almaktadır. Sistemin ana girdisi ışınım, ana çıktısı ise elektriktir.



Şekil 2.14 Fotovoltaik panel kara kutu gösterimi

Fotovoltaik panel için 2.12 numaralı denklemde tanımlanan fotovoltaik panel verimi, elde edilen elektriksel gücün ( $\dot{W}$ ), giren toplam ışınım ( $I$ ) oranıdır. Fotovoltaik panel verimi sabit değildir, ancak yapılan çalışmada işlem kolaylığı sağlaması açısından sabit olduğu varsayılmıştır. Panel verimi belirlenirken, göze tipinin etkisi dahil edilmiştir.

$$n_e = \frac{\dot{W}}{I} \quad (2.12)$$

Çizelge 2.13 Fotovoltaik sistem parametreleri

Dönüştürücü	Girdi	Parametre	Birim
PV	Güneşsel Işınım	Toplam Işınım	kWh/ m <sup>2</sup> / Yıl
		Güneşlenme Süresi	°C
		Panel Verimi	-
		Yüzey alanı	m <sup>2</sup>
		Güneş gözesi tipi	-
		İlk yatırım Maliyeti	\$

#### Fotovoltaik ısı melez panel

Güneş enerjisi uygulamaları genel olarak iki kategoriye ayrılır. Bunlar; güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren ısı enerji sistemleri ve güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik enerji sistemleridir. Fotovoltaik ısı melez paneller (PV/T), bu iki sistemi bir araya getiren sistemler olup aynı anda hem ısı hem de elektrik enerjisi üretmektedir [45]. Fotovoltaik ısı melez paneller, hem ısı hem de elektrik ihtiyacı olan yerlerde sınırlı alan ve kurulum maliyetinin göz önünde bulundurulduğu durumlar için uygun sistemlerdir [46]. Fotovoltaik ısı melez paneller, hava, su, soğutucu madde gibi kullanılan ısı transfer akışkanına göre sınıflandırılabilirler [47]. İş akışkanları içinde en çok tercih edileni sudur [47]. Aynı zamanda fotovoltaik ısı melez paneller için önemli ayırt edici konulardan biri de, panelin göze tipidir. Dayhigh ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada [45] polikristalin silikon ve amorf silikon göze tipine göre ısı ve elektrik verimlerini karşılaştırmaları sonucunda elde ettikleri veriler Çizelge 2.14'te gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, polikristalin silikon göze tipinin elektriksel verimi amorf silikon göze tipine göre daha yüksektir, ancak amorf silikon göze tipinin ısı veriminin polikristalin silikon göze tipine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 2.14 Fotovoltaik ısı melez panellerde kullanılan iki farklı göze tipinin ısı ve elektriksel verimlerinin karşılaştırması [45]

Göze Tipi	Isıl Verim	Elektriksel Verim
Polikristalin Silikon	% 50.12	% 11.98
Amorf Silikon	% 72.0	% 5.0

Şekil 2.15'te fotovoltaik ısı melez panel kara kutu çizimi yer almaktadır. Sistemin ana girdisi ışınım, ana çıktısı ise elektrik ve ısıdır.



Şekil 2.15 Fotovoltaik ısı melez panel kara kutu gösterimi

Fotovoltaik ısı melez panel için 2.13 ve 2.14 numaralı denklemlerde tanımlanan fotovoltaik ısı melez panel ısı ve elektriksel verim değerleri, elde edilen ısıl gücün ( $\dot{Q}_h$ ) ile elektriksel gücün ( $\dot{W}$ ), giren toplam ışınım ( $I$ ) ile panel yüzel alanı ( $A_{PV/T}$ ) çarpımına oranı olarak ifade edilmektedir. Fotovoltaik ısı melez panel verimi sabit değildir, ancak yapılan çalışmada işlem kolaylığı sağlaması açısından sabit alınmıştır. Panel verimi belirlenirken, göze tipinin etkisi dahil edilmiştir.

$$n_h = \frac{\dot{Q}_h}{Ix A_{PV/T}} \quad (2.13)$$

$$n_e = \frac{\dot{W}}{Ix A_{PV/T}} \quad (2.14)$$

Çizelge 2.15 Fotovoltaik ısı melez panel parametreleri

Dönüştürücü	Girdi	Parametre	Birim
PV/T	Güneşsel Işınım	Toplam Işınım	kWh/ m <sup>2</sup> / Yıl
		Panel Isıl Verimi	-
		Panel Elektriksel Verimi	-
		Yüzey Alanı	m <sup>2</sup>
		Güneşlenme Süresi	h
		Güneş Göze Tipi	-
		İlk yatırım Maliyeti	\$

## 2.2 Çevresel Parametreler

Güç dönüştürücü sistemlerinin kullandıkları enerji kaynağına göre elektrik ve doğalgaz olmak üzere iki çeşit karbon dioksit salım kaynağı mevcuttur. Doğalgaz ve şebeke elektriği hem geleneksel hem de yenilikçi güç dönüştürücü sistemlerde enerji kaynağı olarak kullanılabilir ve bu durum karbon dioksit salımına neden olmaktadır. Bu tez kapsamında güç dönüştürücü sistemlerinin üretimi ve lojistiği sırasında meydana gelen karbon dioksit salımı çevresel parametrelerin hesaplamasına dahil edilmemiştir. Enerji kaynağı olarak güneş enerjisinin kullanıldığı güç dönüştürücü sistemlerinin karbon dioksit salım sorumluluğu bulunmaktadır [48]. Ancak güneş enerjisini enerji kaynağı olarak kullanılan güç dönüştürücü sistemlerinin karbon dioksit salımına katkısı bu çalışma kapsamında çevresel parametrelerin hesaplamasına dahil edilmemiştir.

2.15 ve 2.16 numaralı eşitliklerde doğalgaz ve elektrik tüketiminden kaynaklı karbon dioksit salım değerleri paylaşılmıştır.

$$G_{d,t} = \left( \sum_{i=1}^n G_{d,yi} + \sum_{i=1}^n G_{d,ki} \right) \times c_1 \quad (2.15)$$

$$G_{e,t} = \left( \sum_{i=1}^n G_{e,yi} + \sum_{i=1}^n G_{e,ki} \right) \times c_2 \quad (2.16)$$

Doğalgaz tüketiminden kaynaklı karbon dioksit salım değeri hesaplanırken yenilikçi sistemde ( $G_{d,y}$ ) ve geleneksel sistemde ( $G_{d,k}$ ) karbon dioksit salımına neden olan güç dönüştürücülerinin etkisi ve doğalgazın birim toplam karbon dioksit salım değeri ( $c_1$ ) hesaba dahil edilmiştir. Elektrik tüketiminden kaynaklı karbon dioksit salım değerleri hesaplanırken, yenilikçi sistemde ( $G_{e,y}$ ) ve geleneksel sistemde ( $G_{e,k}$ ) karbon dioksit salımına neden olan güç dönüştürücülerinin etkisi ve elektriğin birim toplam karbon dioksit salım değeri hesaba ( $c_2$ ) dahil edilmiştir. Elektriğin birim toplam karbon dioksit salım değerinin ( $G_{e,t}$ ), doğalgazın birim toplam karbon dioksit salım değerinden ( $G_{d,t}$ ) büyük olmasının sebebi, elektrik üretiminde ve elektriğin iletiminde karbon dioksit salımının meydana gelmesidir.

2.17 ve 2.18 numaralı eşitliklerde sırasıyla, güç dönüştürücü sistemlerin doğalgaz ve elektrik tüketimleri sonucunda neden olduğu toplam karbon dioksit salım değeri



( $E$ ) ve karbon piyasasının belirlediği birim değerin ( $P_C$ ) çarpımı ile toplam karbon maliyeti ( $TM_C$ ) paylaşılmıştır.

$$E = G_{d,t} + G_{e,t} \quad (2.17)$$

$$TM_C = E \times P_C \quad (2.18)$$

Toplam karbon maliyeti, çalışmanın amacı olan geri ödeme süresine kâr girdisi olacaktır.

### 2.3 Ekonomik Parametreler

Yapılan bir mühendislik çalışması için ekonomik analizler, projelerin ayrılmaz bir parçasıdır. Bu sayede çalışmanın anlaşılabilirliği sağlanmış olur ve karar verme aşamasında en düşük maliyetli, en optimal seçeneğin belirlenmesi için ışık tutar. Çalışmanın bu bölümünde bir projenin ekonomik açıdan değerlendirilmesi ve ana çıktı olan geri ödeme süresinin belirlenmesi ele alınmıştır. Bahse konu olan ekonomik analizin temel parametreleri üzerinde durulmuştur. Bu parametreler; yatırım maliyeti, işletme maliyeti, toplam maliyet ve geri ödeme süresidir. Yatırım maliyeti ve işletme maliyeti sırasıyla 2.3.1 ve 2.3.2 numaralı başlıklarda anlatılarak formülize edilmiştir. Mühendislik projelerinde yatırım maliyeti ve işletme maliyeti toplamı, toplam maliyeti verir. Toplam maliyet 2.19 numaralı denklemde verilmiştir.

$$TM = \sum_{i=1}^n YM_i + \sum_{i=1}^n İM_i \quad (2.19)$$

Maliyet hesaplamaları, dolardaki enflasyon artışı görece çok az olması sebebiyle basit geri ödeme süresi dikkate alınarak yapılmıştır. Çalışmanın yatırım maliyetinin belirlenmesinde en önemli parametre seçilen güç dönüştürücü sistemin kapasitesidir. Bu kapsamda yenilikçi güç dönüştürücü sistemlerin kapasitesi binanın baz yüklerini karşılayacak biçimde tasarlanmıştır. Bina pik yüke çıkması durumunda geleneksel güç dönüştürücü sistemlerinin devreye girmesi hem yatırım maliyeti hem de bina yüklerinin kesintiye uğramadan karşılanması açısından katkı sağlamaktadır.

### 2.3.1 Yatırım maliyeti

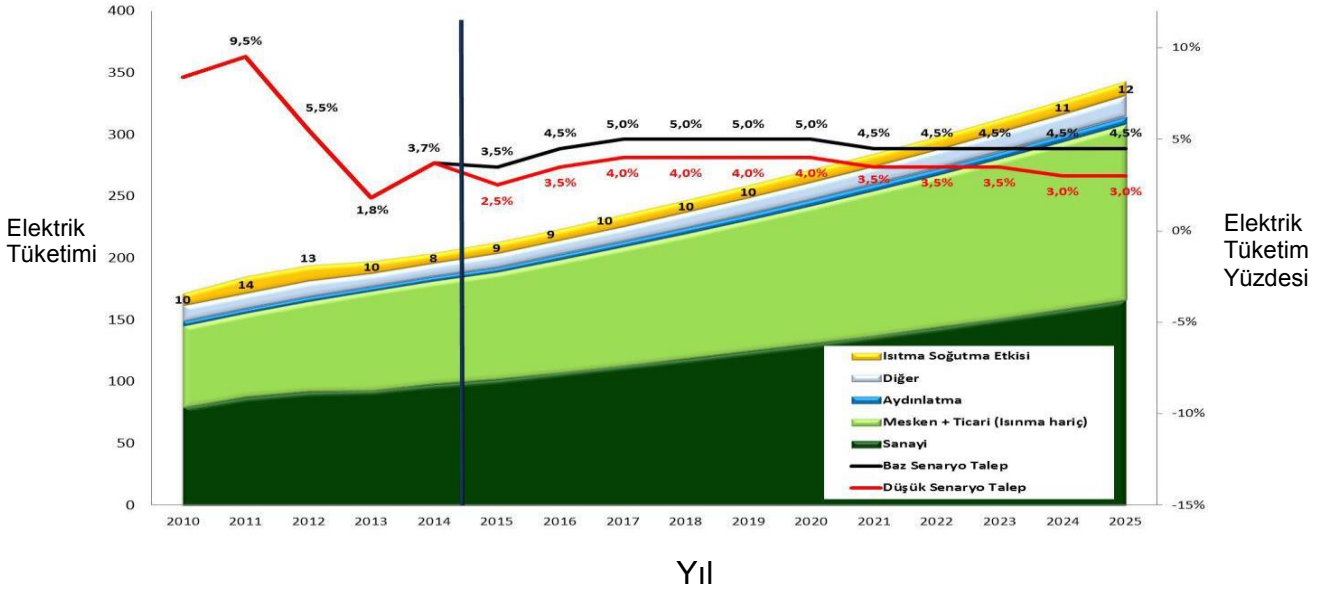
Yatırım maliyeti, bir mühendislik projesi oluşturulurken sistem yüklerine göre belirlenen, güç dönüştürücü sistemler için ödenecek bedeldir. Çalışmada yatırım maliyeti, güç dönüştürücü sistemin kapasitesine ve tipine göre birim kW fiyatları dikkate alınarak hesaplamaya dahil edilmiştir. Güç dönüştürücü sistemlerin yatırım maliyetine, tesisat maliyeti de dahil edilmiştir. Toplam yatırım maliyeti, 2.20 numaralı denklemde verilmiştir.

$$YM_t = \sum_{i=1}^n YM_i \quad (2.20)$$

### 2.3.2 İşletme maliyeti

İşletme maliyeti, proje ömrü boyunca yakıt, bakım, yıpranma payı ve diğer giderler için ödenecek bedeldir. Bakım ve diğer giderler, toplam giderin bir oranı olarak alınacaktır. Bu oran geleneksel sistem için %5, yenilikçi sistem için %10 olarak kabul edilmiştir. Yenilikçi sistem için belirlenen bakım ve diğer giderler ekonomik analiz hesabına yaz sezonu için %5 ve kış sezonu için %5 olacak şekilde yansıtılmıştır. Güç dönüştürücü sistemlerin yıpranma payı işletme maliyeti hesaplamasına dahil edilmemiştir. Geleneksel güç sistemlerinde işletme maliyetinin kaynağı şebeke elektriği ve doğalgazdan oluşan yakıt maliyetidir. Şebekeden sağlanan elektriğin maliyeti iki farklı şekilde hesaplanmaktadır; ilki her gün her saat için geçerli tek fiyat tarifesidir ki bu tarife ticarethaneler ve konutlar için geçerli olup, her ikisi için de değişkenlik göstermektedir, diğeri ise günün farklı saatlerinde farklı tarife uygulamasıdır [49]. Bu çalışma kapsamında elektriğin kWh birim fiyatı dolar bazında, tek fiyat tarifesi dikkate alınarak kullanılmıştır.

Şekil 2.16' da elektrik tüketiminin 2010 - 2025 yılları arasında aydınlatma ve cihazlar özelinde gelecek projeksiyonu değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada elektrik talebindeki artışın, %4.5 - 5 civarında dengelenmesi beklenmektedir [50].



Şekil 2.16 Elektrik gelecekteki projeksiyonu [47]

Bina yüklerinin karşılanması için bir diğer seçenek, doğalgazdır. Doğalgaz tüketimi, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun (EPDK) yayınlamış olduğu, doğalgaz faturalandırma tebliği çerçevesinde, hesap edilir ve faturalandırılır.

Geleneksel enerji kaynağı olarak kullanılan şebeke elektriğinin ve doğalgazın birim fiyatları Çizelge 2.16'da paylaşılmıştır.

Çizelge 2.16 Şebeke elektriği ve doğalgazın birim fiyatları

	Birim Fiyat
Elektrik [\$/kWh]	0,096
Doğalgaz [\$/m <sup>3</sup> ]	0,023
Doğalgaz [\$/kWh]	0,249

Toplam işletme maliyetini 2.22 numaralı denklemde verilmiştir.

$$\dot{M}_t = \sum_{i=1}^n \dot{M}_i \quad (2.22)$$

Çalışmanın 3.2 senaryolar kısmında daha ayrıntılı olarak ele alınacak olan bina yüklerini karşılamak için kullanılan geleneksel yöntemin ve yenilikçi yöntemin yatırım maliyeti ile işletme maliyetinin hesaplanması benzerlik göstermekle birlikte, bazı noktalarda ayrılmaktadırlar. Farklı güç dönüştürücülerinden oluşan melez sistemin bina yüklerini karşılar, yükün bölüşerek karşılanması söz konusudur ve bunu ifade etmek için hesaplamalarda karşılama oranı dikkate alınmıştır. Burada

karşılama oranı talep edilen yükün belirli bir güç dönüştürücüleri sistem tarafından sağlandığının göstergesidir. Aynı yükü karşılamak için birlikte çalışan güç dönüştürücü sistemlerin karşılama oranları toplamı en fazla 1'e eşittir. 2.23 ve 2.24 numaralı eşitliklerde karşılama oranı formülize edilmiştir. 2.23 numaralı eşitlik karşılama oranının güç dönüştürücü sistemin kapasitesinin , ilgili yüke oranı ile tanımlanmaktadır.

$$KO = \frac{K_i}{L_j} \quad (2.23)$$

$$\sum_{i=1}^n KO_i = 1 \quad (2.24)$$

### 2.3.3 Geleneksel sistem için ekonomik analiz

Geleneksel yöntemde, bina yüklerini karşılamak için iki enerji kaynağı kullanılmıştır. Geleneksel yöntemde sıcak su ve ısı ihtiyacının tamamı sadece kazandan karşılanacaktır ve bu durumda belirlenen iki yükü karşılayacak kazanın karşılama oranı %100'dür. Binanın soğutma ihtiyacının tamamı sadece buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminden karşılanacaktır ve bu durumda belirlenen soğutma yükünü karşılayan buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminin de karşılama oranı %100 olacaktır. Elektrik ihtiyacının tamamı ise şebeke elektriğinden karşılanacaktır. Geleneksel yöntemin yatırım maliyeti hesaplanırken, elektriği karşılamak için kullanılan şebeke elektriğinin yatırım maliyetine etkisi göz ardı edilmiştir. Bu durumda yatırım maliyeti, tesisat maliyetinin de yatırım maliyetine dahil edilmesi ile kazana ve buhar sıkıştırımlı soğutma sistemine ödenecek bedeldir. Toplam yatırım maliyeti aşağıdaki şekilde formülize edilebilir;

$$YM_{t,k} = \sum_{i=1}^n YM_i \quad (2.25)$$

$$YM_{t,k} = YM_{KA} + YM_{CH} \quad (2.26)$$

2.26 numaralı eşitlikte, ( $YM_{KA}$ ) kazanın yatırım maliyetini, ( $YM_{CH}$ ) buhar sıkıştırımlı soğutma sistemin yatırım maliyetini ifade etmektedir. Geleneksel yöntemde işletme gideri, doğalgaz ve elektrik tüketimleri dikkate alınarak hesaplanacaktır. Bu durumda işletme maliyeti aşağıdaki şekilde formülize edilebilir;

$$\dot{M}_{t,k} = \sum_{i=1}^n \dot{M}_i \quad (2.27)$$

$$\dot{M}_{t,k} = \dot{M}_d + \dot{M}_e \quad (2.28)$$

$$\dot{M}_d = \frac{K_d}{n_d \times H} \times C_d \times t \quad (2.29)$$

$$\dot{M}_e = \frac{K_e}{n_e} \times C_e \times t \quad (2.30)$$

2.28 numaralı eşitlikte,  $(\dot{M}_d)$  ve  $(\dot{M}_e)$  sırasıyla doğalgaz ve elektrik kaynaklı işletme maliyetini ifade etmektedir. 2.29 numaralı eşitlikte,  $(K_d)$  güç dönüştürücü sistemin kapasitesini,  $(n_d)$  güç dönüştürücü sistemin verimini,  $(H)$  doğalgazın ısı değerini ve  $(C_d)$  doğalgaz birim fiyatını ifade etmektedir. 2.30 numaralı eşitlikte,  $(K_e)$  güç dönüştürücü sistemin kapasitesini,  $(n_e)$  güç dönüştürücü sistemin verimini ve  $(C_e)$  doğalgaz birim fiyatını ifade etmektedir. 2.31 numaralı eşitlikte geleneksel sistemin toplam maliyeti  $(TM_k)$  tanımlanmaktadır.

$$TM_k = YM_{KA} + YM_{CH} + [ t \times \left( \frac{K_d}{n_d \times H} \times C_d \right) + [ (L_c + L_e) \times C_e ] ] \quad (3.31)$$

#### 2.3.4 Yenilikçi sistem için ekonomik analiz

Geleneksel yöntem alternatif olarak sunulan yenilikçi yöntemde yenilikçi enerji kaynaklarının kullanımı ile elektrik ve yakıt tüketiminin azaltılması hedeflenmektedir ve bu sayede işletme maliyeti ile çevresel etkilerin düşmesi beklenmektedir.

Yenilikçi yöntemin yatırım maliyeti, 2.32 numaralı eşitlikte verildiği üzere melez sistemde yer alan her bir güç dönüştürücü sistem için ödenen ilk yatırım bedelinden oluşmaktadır.

$$YM_{t,y} = \sum_{i=1}^n YM_i \quad (2.32)$$

Yenilikçi yöntemin işletme maliyeti, melez sistemdeki güç dönüştürücü sistemlerin enerji kaynağına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu enerji kaynakları, doğalgaz, elektrik, artık ısı, toprak ısı ve yenilenebilir enerjidir. Yenilenebilir enerjinin , toprak ısısının ve artık ısının işletme maliyetini etkileyen yakıt veya elektrik tüketimi olmadığı için hesaplamalarda ihmal edilmiştir.

$$\dot{M}_{t,y} = \sum_{i=1}^n \dot{M}_i \quad (2.33)$$

$$\dot{M}_{t,y} = \dot{M}_d + \dot{M}_e + \dot{M}_{rw} + \dot{M}_{TI} + \dot{M}_{AI} \quad (2.34)$$

$$\dot{M}_d = \frac{K_d}{n_d \times H} \times C_d \times t \quad (2.35)$$

$$\dot{M}_e = \frac{K_e}{n_e} \times C_e \times t \quad (2.36)$$

2.35 ve 2.36 numaralı denklemlerde kullanılan ( $K_e$ ) ve ( $K_d$ ) enerji kaynağı sırasıyla elektrik ve doğalgaz olan güç dönüştürücü sistemin kapasitesini, ( $n_e$ ) ve ( $n_d$ ) sırasıyla elektrik ve doğalgaz kullanan güç dönüştürücü sistemlerin verimini, ( $C_e$ ) ve ( $C_d$ ) sırasıyla elektrik ve doğalgaz birim fiyatını, ( $H$ ) doğalgazın ısı değeri, ( $t$ ) yıllık çalışma süresinin ifade etmektedir. 2.37 numaralı eşitlikte yenilikçi sistemin toplam maliyeti ( $TM_y$ ) tanımlanmaktadır.

$$TM_y = \sum_{i=1}^n YM_i + t \times \left[ \left( \frac{K_d}{n_d \times H} \times C_d \right) + \left( \frac{K_e}{n_e} \times C_e \right) \right] \quad (2.37)$$

Yenilikçi yöntem için geri ödeme süresi 2.38 numaralı denklem ile formüle edilmiştir;

$$GÖS = \frac{YM_{t,y}}{\dot{M}_{t,k} - (\dot{M}_{t,y} - TM_c)} \quad (2.38)$$

2.38 numaralı denklemde geri ödeme süresi (GÖS), yenilikçi yöntemin toplam yatırım maliyetinin ( $YM_{t,y}$ ), geleneksel yöntem ( $\dot{M}_{t,k}$ ) ile yenilikçi yöntemin toplam işletme maliyetlerinin ( $\dot{M}_{t,y}$ ) farkı ile toplam karbon kazancının ( $TM_c$ ) eklenmesiyle elde edilen sonuca oranı şeklinde ifade edilmektedir.

Yapılan çalışmada proje ömrü belirlenirken, güç dönüştürücü sistemlerin bir araya gelmesi ile oluşturulan melez sistemdeki en zayıf halka göz önünde bulundurulmuştur. Melez sistemdeki ömrü en kısa güç dönüştürücü sistem olan PV'nin ömrü, proje ömrü olarak belirlenmiştir ve bu süre 15 yıldır.

## 2.4 Simülasyon

Çalışmanın bu bölümünde geliştirilen Excel tabanlı simülasyon yazılımı ile ilgili kabuller ve yürütülen çalışmanın ayrıntıları anlatılmaktadır. Geleneksel sisteme alternatif olarak sunulan yenilikçi sistemde tespit edilen yükleri karşılamak üzere güç dönüştürücü sistemler kullanılarak melez sistem oluşturulmuştur. Çalışma sezonluk bazda yürütülmüştür ve bina yüklerini karşılamak için seçilen güç dönüştürücü sistemlerinin yılın en az dört ayında kullanılabilir olmasına dikkat edilmiştir. Güç dönüştürücü sistemlerinin uyum içinde çalışması için karşılama oranı belirlenmiştir. Karşılama oranı, sezonluk ihtiyaca ve güç dönüştürücü sistemlerinin kapasitelerine göre simülasyon programı tarafından hesaplanmıştır. Karşılama oranı, ihtiyaç duyulan yükü karşılamak için kullanılacak birden çok güç dönüştürücü sistemin uyum içinde çalışmasını ve bu güç dönüştürücü sistemlerinin tam kapasite ile çalışmasının önüne geçerek binanın işletme maliyetinin düşürülmesine, böylece hem ekonomik hem de çevresel kazanç elde edilmesine fayda sağlamaktadır. Güç dönüştürücü sistemlerinin çalışması için seçilen enerji kaynakları öncelikli olarak güneş enerjisi, toprak ısı ve artık ısıdır. Bina yüklerinin pik yüke ulaşması halinde yenilenebilir enerji kaynaklarına destek olarak enerji kaynağı doğalgaz ve şebeke elektriği olan geleneksel sistemler devreye girmiştir. Bu simülasyon çalışmasında ısıtma ve soğutma ihtiyaçları ile ilgili olarak depolama kullanılmamıştır ancak ekonomik analizde toplam tesisat maliyetine dahil edilmiştir. Isıtma ve soğutma elemleri bir kolektörde toplanarak binanın ihtiyacına göre dağıtılmaktadır.

Simülasyon çalışması ile bir veri kaynağı elde edilmiştir, bu sayede çalışma farklı yüklere sahip binalar için de rahatça kullanıma sunulmaktadır. Çalışmada güç dönüştürücüleri, güç dönüştürücü sistemlerinin kullandığı enerji kaynakları veya aynı yükü karşılaması istenilen güç dönüştürücü sistemlerinin kapasitelerinde yapılabilecek değişiklikler ile yeni melez sistemler oluşturmak mümkündür. Her binaya uygulanabilecek bu veri kaynağı ile oluşturulan her yeni melez sistemin teknoekonomik ve çevresel analizi yapılarak simülasyon çıktılarına ulaşılmaktadır. Çizelge 2.17 ve 2.18 simülasyon programının girdi ve çıktı ekranları sırasıyla yer almaktadır. Simülasyon programının girdi ekranında binanın yer aldığı bölgenin iklim bilgileri, bina yükleri ve seçilen güç dönüştürücü sistemlerin bilgilerine ihtiyaç

duyulmaktadır. Bu sayede farklı iklim,yük ve güç dönüştürücü sistemler ile kurulmak istenilen melez sistem için de veri kaynağından faydalanmak mümkün olacaktır.

Çizelge 2.17 Simülasyon girdi ekranı

<b>SİMÜLASYON GİRDİ EKRANI</b>	
<b>1. İKLİM BİLGİLERİ</b>	<b>VERİLER</b>
Güneş Radyasyonu [ $W/m^2$ ] :	
Ortam Sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ] :	
Toprak Sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ] :	
<b>2. BİNA GİRDİLERİ</b>	
Bina Isı Yüğü [ $kW$ ] :	
Bina Soğü Yüğü [ $kW$ ] :	
Bina Elektrik Yüğü [ $kW$ ] :	
Bina Sıcak Su Yüğü [ $kW$ ] :	
<b>3. GÜÇ DÖNÜŞTÜRÜCÜ SİSTEMLERİN BİLGİLERİ</b>	
Cihaz Kapasitesi [ $kWh$ ] :	
Cihaz Verimi :	
Cihazın Birim Fiyatı [ $\$/kWh$ ] :	
Cihazın Tesisat Maliyeti [ $\$$ ] :	
Ekipman Sayısı [ $Adef$ ] :	

Son kullanıcıdan alınan bu bilgiler ışığında simülasyonun çıktı ekranında teknik, ekonomik ve çevresel çıktılar sunulmaktadır. Teknik çıktılar, güneş enerjini sıcak su, ısıtma, elektrik gibi anlamlı çıktıya dönüştüren düzlemsel toplaç ve fotovoltaiik panel alanları, geleneksel yöntemle alternatif olarak kullanılan yenilikçi sistemin pik yüklerini karşılamak için tüketilen elektrik ve doğalgaz miktarlarından oluşmaktadır. Ekonomik çıktılar, oluşturulan yenilikçi melez sistemin yatırım, işletme ve toplam maliyetlerini, dolar bazında sunmaktadır. Çalışmada tesisat maliyeti yatırım maliyetine dahil edilmiştir. Oluşturulan melez sistem için belirlenen ömür boyunca güç dönüştürücü sistemlerinin daha erken bir sürede değiştirilmesi halinde ihtiyaç duyulan değiştirme bedeli ihmal edilmiştir ve güç dönüştürme sistemlerinin bakım maliyetleri ekonomik analizde dahil edilmiştir. Çalışmanın amaç fonksiyonu olan geri ödeme süresinin tespiti de ekonomik çıktılarından bir diğeridir. Çevresel çıktı,



geleneksel yöntem yerine geliştirilen yenilikçi yöntem ile önlenen karbon dioksit salım miktarıdır. Karbon dioksit salımından elde edilen miktar, doğalgaz tüketiminden kaynaklanan karbon salımı ve elektrik tüketiminden kaynaklanan karbon salımı dikkate alınarak hesaplama yapılmıştır. Kullanılan şebeke elektriğinin sebep olduğu karbon salım değerinin, doğalgazın sebep olduğu karbon salım değerinden daha büyük olmasının sebebi, elektrik üretiminde doğalgaz kullanıldığı kabul edilerek oluşan kayıplar ve iletim esnasında da meydana gelen karbon dioksit salımıdır. Çevresel çıktının hesaplamasında güç dönüş dönüştürücü sistemlerinin üretimi ve taşınması esnasında meydana gelen karbon dioksit salımı ihmal edilmiştir.

Çizelge 2.18 Simülasyon çıktı ekranı

<b>SİMÜLASYON ÇIKTI EKRANI</b>	
<b>1. TEKNİK ÇIKTILAR</b>	<b>SONUÇLAR</b>
Düzlensel Toplaç Alanı [ $m^2$ ]:	
Fotovoltaik Panel / Fotovoltaik Isı Melez Panel Alanı [ $m^2$ ]:	
Elektrik Tüketimi [kW]:	
Doğalgaz Tüketimi [kW]:	
<b>2. EKONOMİK ÇIKTILAR</b>	
Toplam Yatırım Maliyeti [\$] :	
Toplam İşletme Maliyeti [\$] :	
Toplam Maliyet [\$] :	
Geri Ödeme Süresi [Yıl] :	
<b>3. ÇEVRESEL ÇIKTILAR</b>	
CO <sub>2</sub> Kazancı [ $ton/h$ ] :	

Simülasyon programı son kullanıcıya yenilikçi yöntem ile tasarlanan bir binanın yüklerinin karşılanması amacıyla teknik, ekonomik ve çevresel açıdan ayrıntı bir analiz sunmaktadır.

### 3 ÖRNEK UYGULAMA

Bu çalışmada Eser Yeşil Bina örnek çalışma olarak kullanılmıştır ve Eser Yeşil Bina'nın ısıtma, soğutma ve elektrik yükleri, Excel tabanlı simülasyon programının girdisidir. Binanın sıcak su yükü, 60 °C sıcaklığında günlük ihtiyacın 50 L olduğu kabul edilerek çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmanın Ankara ilinde yapıldığı ve yıllık çalışma süresinin 3000 saat olduğu kabul edilmiştir. Eser Yeşil Bina yüklerinin kullanımı ve çalışma süresi gibi benzer kabullerin yapımı ile geliştirilen yenilikçi melez sistemlerin aynı şartlar altında değerlendirilmesi mümkün olmuştur. Bu bölümde, Eser Yeşil Bina'nın mevcut durumu, bina yükleri ve Eser Yeşil Bina'da kullanılan mevcut güç dönüştürücüleri ile geleneksel sisteme alternatif olarak sunulan 2 farklı yenilikçi sistem senaryoları paylaşılmıştır.

#### 3.1 Eser Yeşil Bina'nın Mevcut Durumu

Ankara'da bulunan ve Eser Holding'in bünyesinde yer alan Eser Yeşil Bina, Türkiye'de ilk LEED Platin yeşil bina sertifikasını almıştır. Eser Yeşil Bina su ve enerji tasarrufu sağlaması, çevre kirliliğinin önlenmesi, kaynakların optimal şekilde kullanılması amacıyla tasarlanmıştır ve ihtiyaç duyduğu enerjinin bir kısmını kendi bünyesinde yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak üretebilmektedir. Bu anlamda Eser Yeşil Bina, sürdürülebilir bina olarak gösterilebilecek bir örnektir.



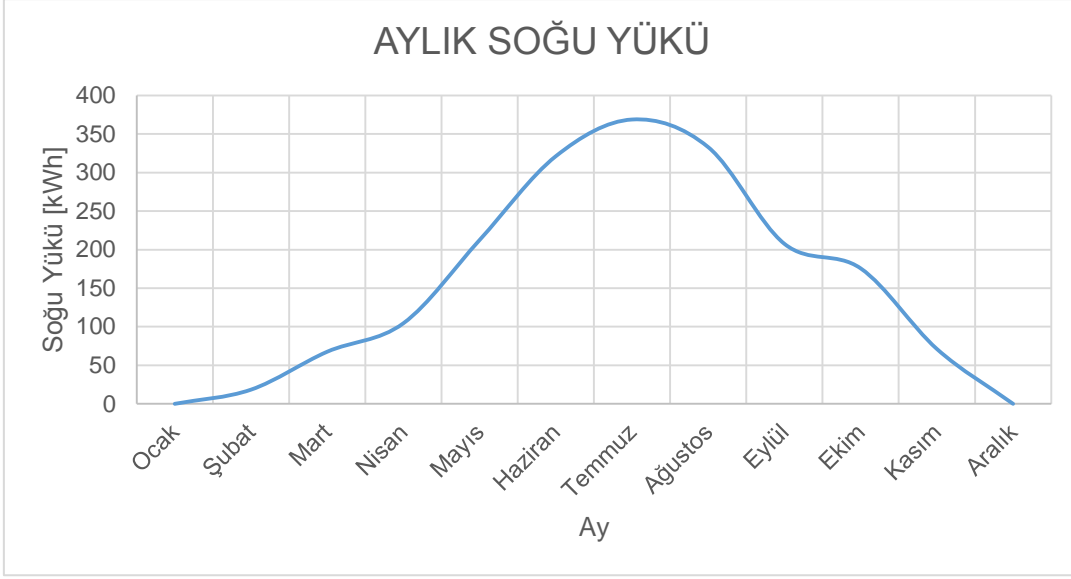
Şekil 3.1 Eser Yeşil Bina, Çankaya/ ANKARA

Eser Yeşil Bina ile ilgili paylaşılan bilgiler Eser Yeşil Bina ziyaretinde bina yetkililerinden alınan bilgiler doğrultusunda oluşturulmuştur. Kapalı alanı 7500 m<sup>2</sup> olan Eser Yeşil Bina'nın mimari ve tasarım özellikleri aşağıda sıralanmıştır. Bunlar;

- Eser Yeşil Bina, 7 kattan oluşmaktadır,
- -2. katında, 51 araçlık otopark bulunmaktadır,
- -1. katında, konferans salonu, kafeterya ile ofis ve depolar yer almaktadır,
- İlk üç katında toplantı odaları ve ofisler yer almaktadır,
- Çatısı terastır,
- Binada 1 ana merdiven, 3 adet asansör, 2 adet yangın merdiveni, 2 adet ana, 2 adet tali tesisat şaft ve baca yer almaktadır,
- Kullanılan malzeme, detaylar, gerekli doğal ısı ve güneş ışınları dikkate alınarak tasarlanmıştır,
- Isı izolasyonu konusunda uluslararası standartlar izlenmiştir,
- Bina malzemelerinin temininde çevre, sağlık, hijyen, en yakın bölgeden temin edilmesi, yerli ürün olması ve geri dönüştürülebilir olması gibi kriterler göz önünde bulundurulmuştur.

### 3.1.1 Eser Yeşil Bina yükleri

Eser Yeşil Bina, kendi bina yüklerini yine kendi bünyesinde karşılaması üzerine tasarlanmıştır. Bina yükleri tüm yıl boyunca kaydedilmektedir. Bu veriler doğrultusunda Şekil 3.2'de aylık soğutma yükü, Şekil 3.3'te aylık ısıtma yükü ve Çizelge 3.1'de Eser Yeşil Bina'nın pik yükleri sunulmuştur.



Şekil 3.2 Eser Yeşil Bina'nın aylık soğutma yükü



Şekil 3.3 Eser Yeşil Bina'nın aylık ısıtma yükü

Enerji kaynağı olarak yenilikçi yöntemleri kullanan güç dönüştürücü sistemler binanın baz yükünün karşılanması amacıyla kullanılmıştır. Sistemin pik yükleri doğalgaz ve şebeke elektriği gibi geleneksel yöntemlerle karşılanmaktadır ve sistemde meydana gelebilecek kesintiler bu sayede önlenmektedir.

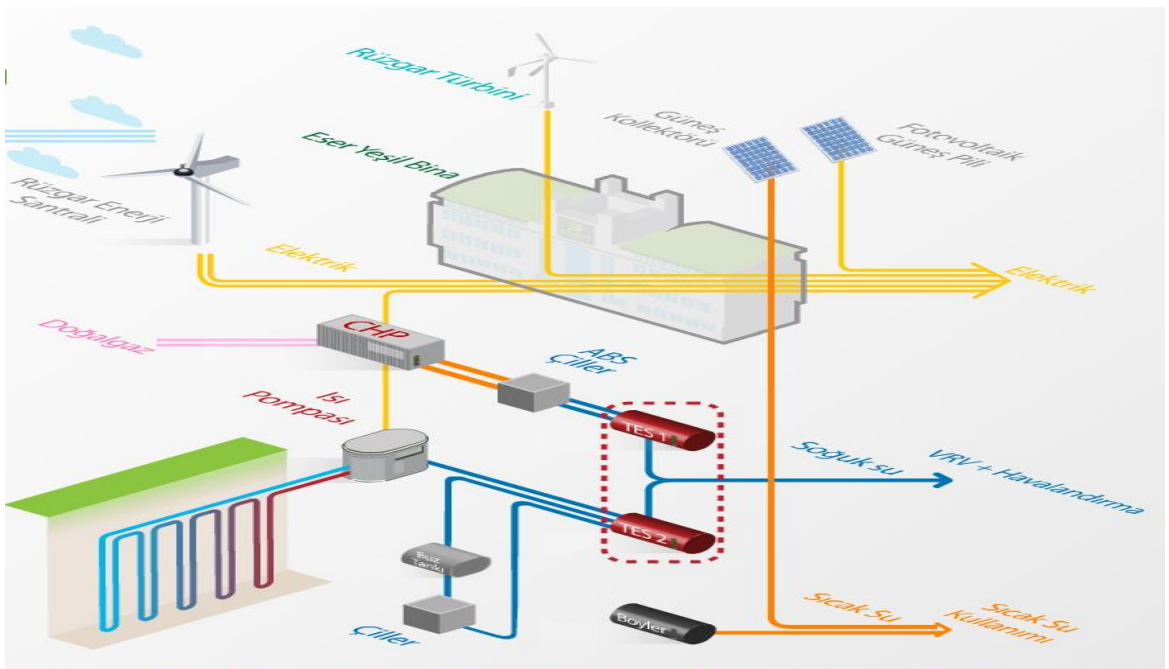
Çizelge 3.1 Eser Yeşil Bina pik yükleri

	Isıtma Yüğü [kW]	Elektrik Yüğü [kW]	Soğu Yüğü [kW]
Pik Yüğü	400	420	368

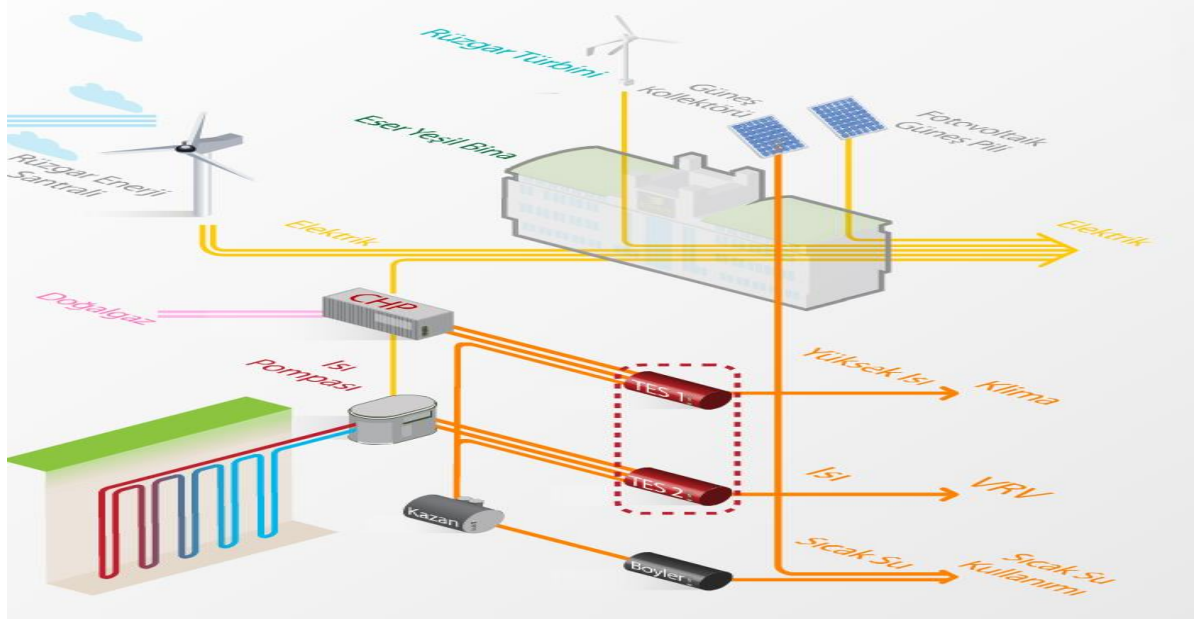
### 3.1.2 Eser Yeşil Bina'da kullanılan mevcut güç dönüştürücüleri

Eser Yeşil Bina'nın yüklerini karşılamak üzere tasarlanan melez sistem, yaz ve kış sezonları olmak üzere sezonluk yükler esas alınarak tasarlanmıştır. Eser Yeşil Bina da yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgar ve güneş enerjisi kullanılmaktadır ve bu sayede hem karbon salımı değerleri düşürülmektedir, hem de Eser Yeşil Bina kullandığı elektriğin bir kısmını kendi bünyesinde üretebilmektedir. Güneş enerjisi ile çalışan sistemler fotovoltaik paneller ile düzlemsel toplaçlardır. Binanın Güney cephesinde ve çatısında yer alan fotovoltaik paneller elektrik eldesi için kullanılmaktadır. Fotovoltaik panellerin yakıt maliyeti yoktur ve çevre kirliliğine neden olmamaktadır. Eser Yeşil Bina bünyesinde, 35 adet fotovoltaik panel ve 4 adet düzlemsel toplaç yer almaktadır. 1kW kapasiteli rüzgar türbini binanın teras katında yer almaktadır ve elektrik yüklerinin karşılanması amacıyla kullanılmaktadır. Binanın elektrik yükünün karşılanamaması durumunda rüzgar elektrik santrali ile temiz ve yenilenebilir elektrik sağlamaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompası ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisini şebeke elektriğinden değil Eser Yeşil Bina'nın kendi bünyesinde ürettiği elektrik ile karşılanmaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompasının kapasitesi 60 kW'tır. Toprak kaynaklı ısı pompası binanın ön bahçesinde 5 adettir ve 120 m derinliğine ulaşmaktadır. Yerin 120 m altında toprak sıcaklığı 14 °C'dir ve bu sıcaklık iş akışkanına aktarılarak, yıl boyunca hem ısıtma hem de soğumta yüklerini karşılamak için kullanılmaktadır. Eser Yeşil Bina için oluşturulan melez sistemdeki en önemli dönüştürücü sistemlerden biri birlikte ısı ve güç sistemidir. Binanın elektrik ve ısı yüklerinin karşılanması amacıyla kullanılan birlikte ısı ve güç sisteminin enerji kaynağı doğalgazdır. Eser Yeşil Bina bünyesinde bir adet 81 kW ısı kapasiteye sahip birlikte ısı ve güç sistemi yer almaktadır. Birlikte ısı ve güç sistemi sayesinde, sadece elektrik üreten jeneratör ve sadece ısı üreten kazana göre daha yüksek oranda faydalanılarak verimlilik artırılmaktadır. Birlikte ısı ve güç sisteminin kapasitesinin %50'si elektrik eldesi, %35'i ısı eldesi için kullanılırken, %15'i de kayıptır. Ancak birlikte ısı güç sistemi yerine jeneratör ve kazanın birlikte kullanılması durumunda, jeneratörden %36 elektrik elde edilirken, %64'ü kayıp ve kazandan %80 oranında ısı elde edilirken %20 oranında kayıp meydana gelmektedir [52]. Bu kapsamda da enerji verimliliği açısından sürdürülebilir bir melez sistemde birlikte ısı ve güç sistemi büyük önem

taşımaktadır. Birlikte ısı ve güç sisteminin artık ısıyı absorpsiyonlu soğutma sistemi ve dış VRV üniteleri ile klima santralleri için destek olarak kullanılmaktadır. Bu sayede birlikte ısı güç sistemi ısı ve elektrik eldesine ek olarak soğu eldesi için de kullanılabilir. Absorpsiyonlu soğutma sistemi, mekanik enerji yerine ısı kullanan bir sistemdir. Bu sayede elektrik tüketmek yerine, kullanılmayan fazla ısı yani bir başka deyimle artık ısı ile soğutma sağlanmış olur. Yazın, birlikte ısı ve güç sisteminden üretilen ısı, binanın ısı yükünün çok üzerindedir, binanın soğu yükü de yüksek olduğu için elde edilen bu ısı, absorpsiyonlu soğutma sistemini besleyebilecek niteliktedir. Birlikte ısı ve güç sistemi, absorpsiyonlu soğutma sistemi ve toprak kaynaklı ısı pompasının binanın soğu yükünü karşılamada yeterli olmadığı pik yüklerde yazın devreye girmek üzere, kademeli olarak çalışan ve enerji kaynağı şebeke elektriği olan geleneksel çiller melez sisteme dahil edilmektedir. Çillerin sadece destek sistemi olarak kullanılması enerji verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır. Çiller, ısı depolarını ve buz tankını beslemektedir. Kış sezonu için de görece daha verimli olan birlikte ısı ve güç sistemi ve toprak kaynaklı ısı pompasının yeterli olmadığı pik yüklerde devreye girmek üzere kademeli çalışan ve destek sistemi olarak kullanılan 3 adet kazan mevcuttur. Kazanın enerji kaynağı doğalgazdır. Kazanlar ısıttıkları iş akışkanı olan suyun ayrı seviyede ısı kullanan iki adet ısı deposunu ve sıcak su ısıtan iki adet boyleri beslemektedir. Boyler, sıcak su yükünü karşılamak üzere ve düzlemsel toplaca destek sistemi olarak yazın ve kışın devreye girmektedir.



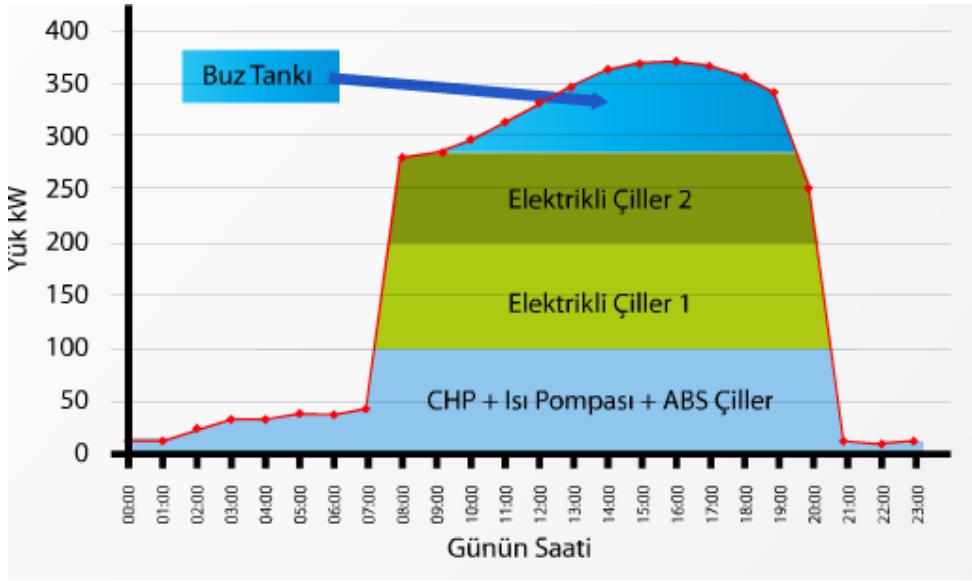
Şekil 3.4 Yaz yüklerinin karşılanması için oluşturulan melez sistem



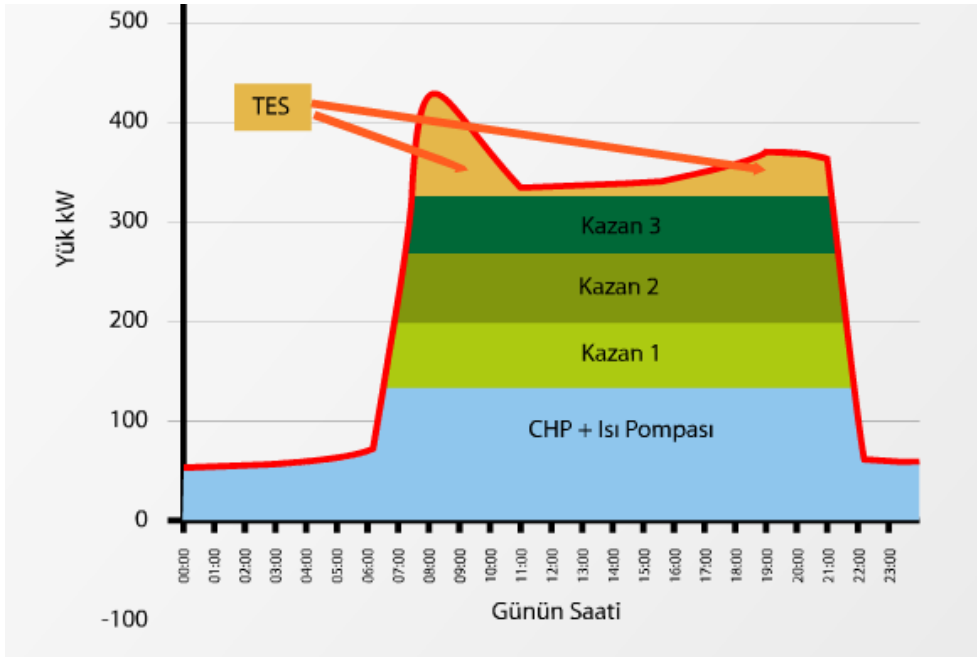
Şekil 3.5. Kış yüklerinin karşılanması için oluşturulan melez sistem

Melez sistemde iki adet 20 L hacminde ısı deposu ile buz tankı yer almaktadır. Isı depoları farklı ısı seviyelerindedir, bu sayede binadaki ihtiyaç durumuna bağlı olarak farklı enerji seviyelerinde depolama yapılabilmektedir. Aynı zamanda dönüştürücü sistemlerin üretmiş olduğu ihtiyaç fazlası sıcak ve soğuk suyun depolanması sonucu enerji sarfiyatı düşürülmektedir. Yazın iki adet ısı depolama sistemi ile buz tankı ve kışın ise iki adet ısı depolama sistemi kullanılmaktadır. Sadece yazın devreye giren buz tankı ise elektrik tüketiminin az olduğu ve ucuz elektrik tarifesinin uygulandığı gece saatlerinde buz üretip, depolanmaktadır. Bu sayede pik yükünün olduğu gündüz saatlerinde binanın soğu ihtiyacı karşılanmaktadır.

Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 mevcut güç dönüştürücüleri sistemler ile bina yüklerin karşılanmasını gösterilmektedir. Enerji tüketimi için kullanılan öncelikli dönüştürücü sistemler yaz ve kış uygulamasında birlikte ısı ve güç sistemi ile ısı pompasıdır. Yazın bu dönüştürücü sistemlere ek olarak soğu ihtiyacının karşılanması amacı ile absorpsiyonlu soğutma sistemi devreye girmektedir. Bina yükündeki artış neticesinde yazın çiller, kışın ise kazan devreye girmektedir.



Şekil 3.6 Buz tankı kullanımı ile gündüz pik soğutma yükünün karşılanması



Şekil 3.7 Sıcak su tanklarında ısı depolaması ile pik yükün karşılanması

Eser Yeşil Bina'nın yüklerini karşılamak için belirlenen güç dönüştürücü sistemlerinin ulaşılabilen özellikleri ve kullanıldığı sezon Ek-1'de paylaşılmıştır. Çizelge 3.2'de simülasyon çalışmasından elde edilen Eser Yeşil Bina çıktıları paylaşılmıştır. Eser Yeşil Bina'nın ana çıktıları yatırım maliyeti (YM), işletme maliyeti (İM), toplam maliyet (TM), karbon dioksit salımının önlenmesi ile elde edilen kâr (TMc) ve geri ödeme süresi (GÖS)'dir. Ana çıktıları elde etmek için yapılan hesaplamada aşağıdaki kabuller dikkate alınmıştır. Bunlar;



- Eser Yeşil Bina'nın yıllık çalışma süresi 3000 saattir,
- Yatırım maliyeti hesabına tesisat maliyeti dahil edilmiştir,
- Toplam maliyet yatırım maliyeti ve işletme maliyetine ödenen bedeldir,
- Karbon dioksit salımının önlenmesi ile elde edilen kâr hesaplamasında doğalgaz tüketiminden kaynaklanan toplam karbon salımı ve elektrik tüketiminden kaynaklanan karbon salımı dikkate alınmıştır.

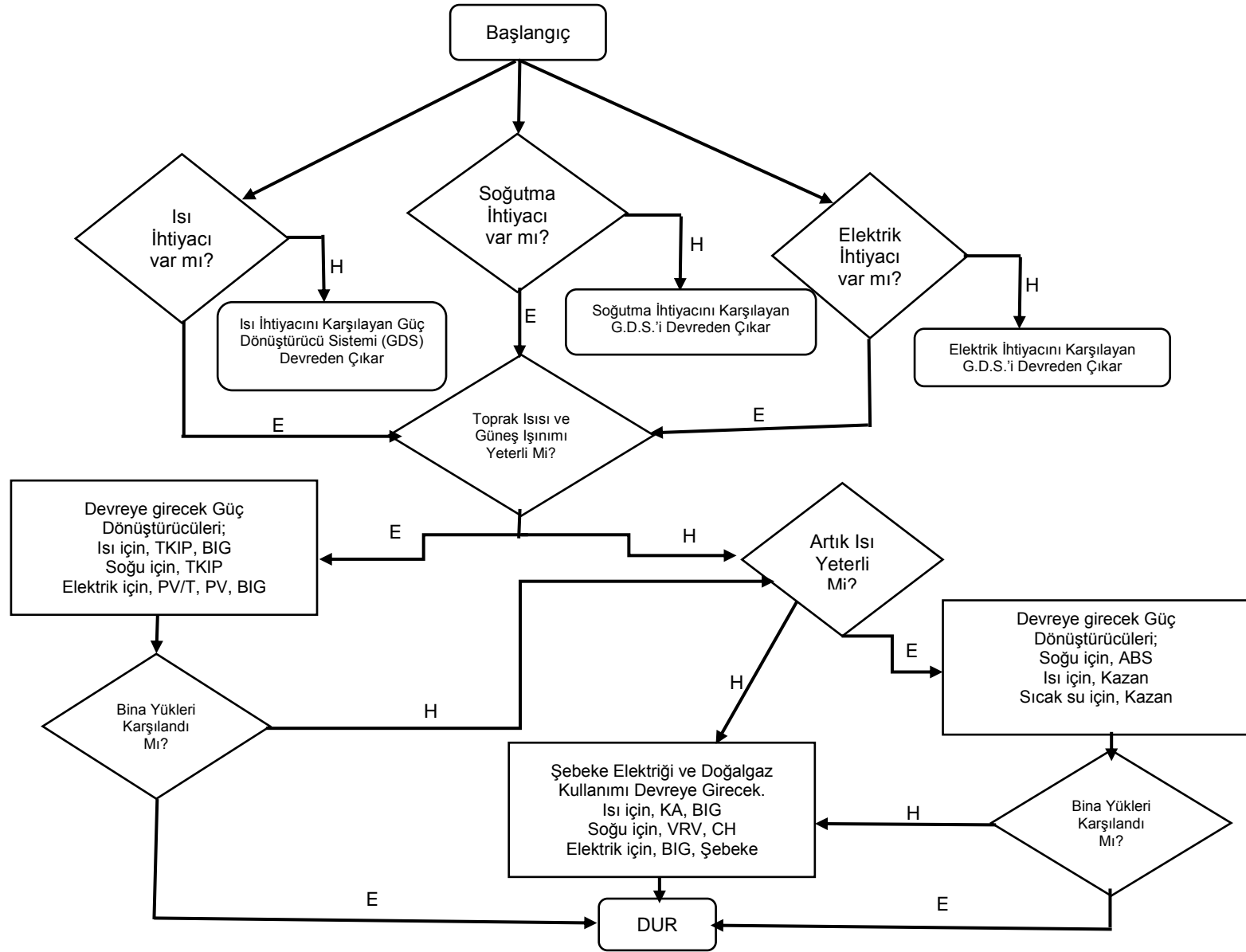
Çizelge 3.2 Eser Yeşil Bina için çalışmanın ana çıktıları

	YM <sub>y</sub> [\$]	İM <sub>y</sub> [\$]	TC <sub>c</sub> [\$]	GÖS [Yıl]
<b>Eser Yeşil Bina</b>	1702319,4	35161,4	5029,4	11,8

### 3.2 Senaryolar

Bu bölümde geleneksel yöntem alternatif olarak sunulan yenilikçi yöntemin kullanıldığı senaryolar ve ana çıktılar verilmiştir. Bu tez kapsamında, elektrik, ısıtma, soğutma ve sıcak su yüklerini karşılamak amacıyla iki farklı senaryo oluşturulmuştur. Senaryoların değerlendirilmesinde kullanılan karar verme algoritması Şekil 3.8'de verilmiştir. Bu kapsamda, karar verme algoritması öncelikli olarak ihtiyaç duyulan yüklere göre mevcut enerji kaynaklarının yeterliliği sorgulamaktadır. Birlikte ısı ve güç sistemi geliştirilen senaryoların ana bileşeni olup, her zaman devrede olan güç dönüştürücü sistemdir. Toprak ısı ile güneş enerjisinin mevcut olduğu durumda ve elektrik, ısıtma, soğutma yüklerine ihtiyaç duyulması halinde ısıtma ve soğutma yükleri için toprak kaynaklı ısı pompası, elektrik yükü için de PV ile PV/T devreye girmektedir. Bina yüklerinin belirlenen bu enerji kaynakları ile karşılanamaması veya belirtilen bu enerji kaynaklarının mevcut olmaması durumunda artık ısı devreye girmektedir. Yine aynı şekilde bina yüklerinin artık ısı ile karşılanamaması veya artık ısının mevcut olmaması durumunda doğalgaz ve şebeke elektriğinin kullanıldığı geleneksel güç dönüştürücü sistemler devreye girmektedir. Bunlar; ısıtma yükünü karşılamak için kazan, soğutma yükünü karşılamak için buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi ile değişken soğutucu akışkan debili klima sistemi olup elektrik yükü şebeke elektriği ile karşılanmaktadır. Binada ısıtma, soğutma ve elektrik ihtiyacı yoksa algoritma dur komutu vermektedir. Senaryolarda kullanılan güç dönüştürücü sistemlerin

kapasiteleri iteratif yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Senaryoların geliştirilmesinde kullanılan karar verme algoritması son kullanıcıya, şebeke elektriği ve doğalgaz kullanımının minimize edilmesini ve bu sayede çevre kirliliğinin azaltılmasını, mevcut yüklerin yenilikçi sistemlerle karşılanma oranının arttırılmasını sunmaktadır.



Şekil 3.8 Excel tabanlı simülasyon algoritması

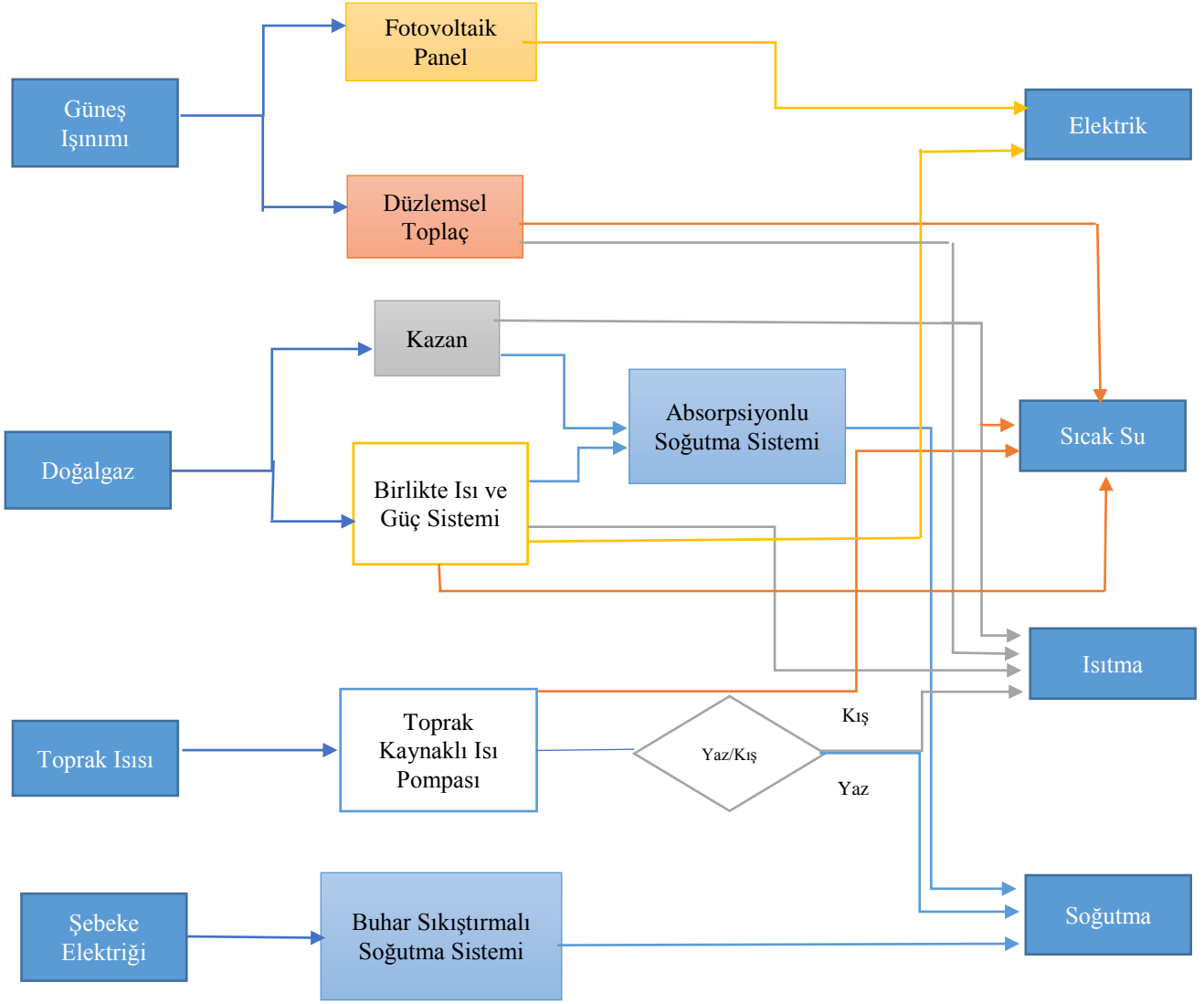
### 3.2.1 Senaryo 1

Geliştirilen ilk senaryo ile Eser Yeşil Bina'nın ısıtma, soğutma, elektrik yükleri kullanılarak bina yüklerinin karşılanması hedeflenmiştir. Çalışmada sıcak su yükünün hesaplanmasında günlük ihtiyaç 50 lt olarak belirlenmiştir. Senaryoda, karar verme algoritmasında da gösterildiği üzere güneş enerjisi, toprak ısı ve artık ısıdan oluşan yenilikçi enerji kaynaklarının kullanımı önceliklidir, ancak bina yüklerinin karşılanamaması durumunda geleneksel enerji kaynakları olan şebeke elektriği ve doğalgaz kullanımı gerçekleştirilecektir. Bu kapsamda Şekil 3.9'daki proses akışında gösterildiği üzere binanın ısıtma yükünü karşılamak için DT, TKIP, BIG ve KA, binanın soğutma yükünü karşılamak için ABS, TKIP ve CH, binanın elektrik yükünü karşılamak için PV ve BIG, binanın sıcak su yükünü karşılamak için BIG, KA, TKIP ve DT kullanılmıştır. Yenilikçi güç dönüştürücü sistemlerinin kapasiteleri Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te paylaşılan Eser Yeşil Bina'nın baz yükleri esas alınarak belirlenmiştir. Çalışmada ısıtma ve soğutma ile ilgili olarak depolama öngörülmemiştir. Eser Yeşil Bina'nın ısıtma ve soğutma yükleri ayrıntılı olarak alınmıştır. Elektrik yükü için de yıl içinde ortalama tüketim ve pik yüklerle ulaşılmıştır. Bu doğrultuda yaz ve kış sezonları için seçilen güç dönüştürücü sistemlerinin karşılama oranları ve çalışma süreleri belirlenerek teknoekonomik ve çevresel analizi yapılmıştır.

Eser Yeşil Bina'nın Şekil 3.2'de paylaşılan yıllık soğutma yükleri incelendiğinde 12 ayın 7 ayında 100 kW üzerinde soğutma ihtiyacı mevcuttur ve bu sebeple 100 kW baz yük olarak alınmıştır. Artık ısı ile çalışan ABS'nin kapasitesi doğrudan BIG'nin ısı kapasitesi ile ABS'nin COP değerine bağlıdır. 56,7 kW kapasitesindeki ABS, Ocak ayının ortalarından Şubat ayının ortasına kadar %50 kapasiteyle yılın geri kalan aylarında %100 kapasiteyle çalışmaktadır. ABS, yılın 11 ayı boyunca tam kapasiteli çalışması, enerji kaynağının artık oluşu, dolayısıyla işletme maliyetinin olmaması sebebiyle oldukça yüksek enerji verimliliği sağlamaktadır. TKIP'nin soğutma kapasitesi 45 kW'tır. TKIP'dan hem ısıtma hem de soğutma elde edilmektedir, Nisan ayına kadar ısıtma sistemine destek sağlamaktadır ve Nisan ayından Kasım ayına kadar TKIP'dan soğu elde edilmektedir. ABS ve TKIP'nin soğutma yükünü karşılamada eksik kaldığı pik yüklerde CH devreye girmektedir. Enerji kaynağı şebeke elektriği olan CH'in kapasitesi toplamda 162,3 kW olarak

belirlenmiştir ve 2 adet kullanılmıştır. CH'in 2 adet seçilmesi İM'ni düşürmektedir. Eser Yeşil Bina'nın Şekil 3.3'te paylaşılan yıllık ısıtma yükleri incelendiğinde 12 ayın 7 ayında 120 kW üzerinde ısıtma ihtiyacı mevcuttur ve bu sebeple 120 kW baz yük olarak alınmıştır. TKIP'nin ısıtma kapasitesi 45 kW'tır ve Nisan ayına kadar ısı elde edilmektedir. DT, sıcak su sağlamadığında ısıtma yükünü karşılamak için kullanılmaktadır. BIG'nin kapasitesi 81 kW'tır ve hem ısı eldesi hem de elektrik eldesinde kullanılan BIG, yılın 12 ayı kullanılmaktadır. TKIP ve BIG'nin ısıtma yükünü karşılamada eksik kaldığı pik yüklerde KA devreye girmektedir. Toplamda 110 kW kapasiteye sahip olan KA sistemde 3 adettir. KA'da kullanılan kaskat sistemi, 1. Kazanın ısıtma yükünü karşılayamadığı durumda 2. ve sırasıyla 3. kazanın devreye girmesi ile doğalgaz tasarrufu sağlar, kazanlardan birinin arızalanması durumunda, ısıtma yükü pik yüke ulaştığında da ısıtma yükünü karşılamak mümkün olmaktadır. Eser Yeşil Bina'nın elektrik yükünü karşılamak için güneş enerjisi ile çalışan 40 adet 0,75 kW kapasiteli PV kullanılmıştır. Aynı yüzey alanı için en fazla elektrik üretim kapasitesine sahip göze tipi, monokristalin silikondur [15]. Bu sebeple senaryo-1 kapasamında seçilen PV'nin göze tipi monokristalin silikondur. BIG sisteminin elektrik üretim kapasitesi 65 kW'tır. PV ve BIG'nin elektrik yükünü karşılamada eksik kaldığı pik yüklerde şebeke elektriği devreye girmektedir. Eser Yeşil Bina'nın sıcak su yükünü karşılamak için BIG, KA, DT ve TKIP kullanılmıştır. TKIP soğutma yükünü karşıladığı dönemde DT devreye girmektedir. Melez sistemde 1x2 m<sup>2</sup> ölçüsünde 55 adet DT kullanılmıştır. TKIP'dan ısıtma elde ederken 44 L/min hacminde sıcak su da elde edilmektedir. Melez sistemi oluşturmak için seçilen güç dönüştürücü sistemlerinin enerji verimliliği açısından yılın en az 4 ay kullanılıyor olmasına dikkat edilmiştir.

Senaryo-1'de kullanılan güç dönüştürücü sistemler ile karşıladıkları yüklere ilişkin proses akış diagramı Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9 Senaryo-1 için seçilen güç dönüştürücüleri

Bu tez kapsamında geliştirilen simülasyon kullanılarak senaryo-1 için teknoekonomik ve çevresel analizler yapılmıştır. Bu kapsamda çalışmanın ana çıktısı olan GÖS hesaplanmıştır. Sistemin İM hesabına bakım ve diğer giderler sezonluk %5 olacak şekilde ilave edilmiştir, ancak güç dönüştürücü sistemlerin yıpranma payları İM'e dahil edilmemiştir. Tmc olarak ifade edilen karbon dioksit salımının önlenmesi de GÖS'ni kısaltmaktadır. Çizelge 3.3'te senaryo-1 kapsamında elde edilen çıktılar sunulmuştur.

Çizelge 3.3 Senaryo-1 çıktıları

	YM <sub>y</sub> [\$]	İM <sub>y</sub> [\$]	TC <sub>c</sub> [\$]	GÖS [Yıl]
<b>Senaryo-1</b>	1967953,6	32297,4	7321	13,2

### 3.2.2 Senaryo 2

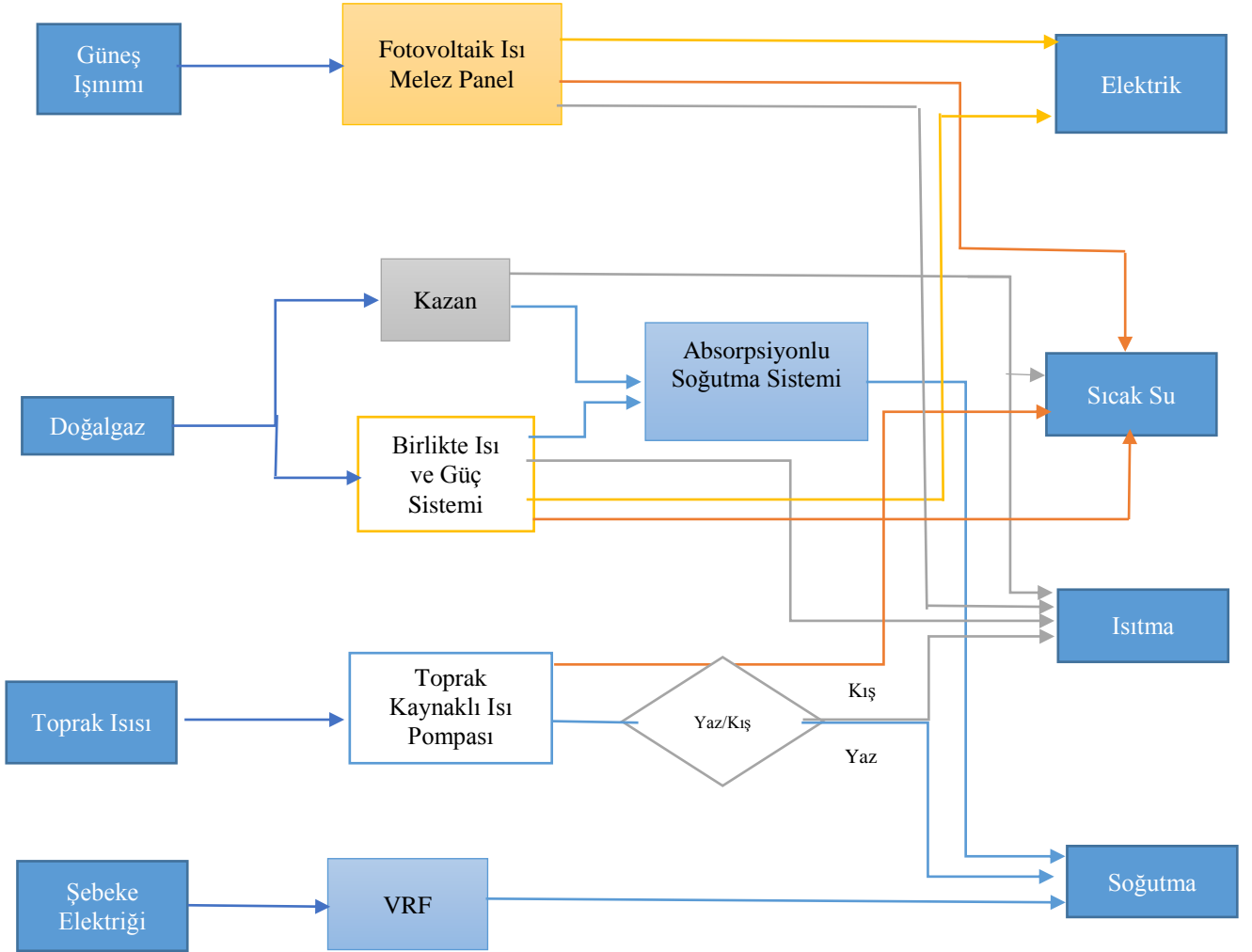
Geliştirilen ikinci senaryo, ilk senaryo ile benzerlik göstermektedir ancak güç dönüştürücü sistemlerinin kapasiteleri ile elektrik, soğutma ve sıcak su eldesinde kullanılan güç dönüştürücü sistemlerinde farklılık göstermesi nedeniyle birbirlerinden ayrılmaktadırlar. Senaryo-1’de olduğu gibi Eser Yeşil Bina’nın ısıtma, soğutma, elektrik yükleri esas alınmıştır ve çalışmada sıcak su yükünün hesaplanmasında günlük ihtiyaç 50 lt olarak belirlenmiştir. Senaryoda-2’de de, karar verme algoritmasında da gösterildiği üzere güneş enerjisi, toprak ısı ve artık ısıdan oluşan yenilikçi enerji kaynaklarının kullanımı önceliklidir, ancak bina yüklerinin karşılanamaması durumunda geleneksel enerji kaynakları olan şebeke elektriği ve doğalgaz kullanımı gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda Şekil 3.10’daki proses akış diagramında gösterildiği üzere binanın ısıtma yükünü karşılamak için TKIP, BIG, PV/T ve KA binanın soğutma yükünü karşılamak için ABS, TKIP ve VRF, binanın elektrik yükünü karşılamak için PV/T ve BIG, binanın sıcak su yükünü karşılamak için TKIP, KA, BIG ve PV/T kullanılmıştır. Yenilikçi güç dönüştürücü sistemlerinin kapasiteleri Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’te paylaşılan Eser Yeşil Bina’nın baz yükleri esas alınarak, iteratif yöntemle belirlenmiştir. Çalışmada ısıtma ve soğutma ile ilgili olarak depolama öngörülmemiştir. Eser Yeşil Bina’nın ısıtma ve soğutma yükleri ayrıntılı olarak alınmıştır. Elektrik yükü için de yıl içinde ortalama türletim ve pik yüklerle ulaşılmıştır. Bu doğrultuda yaz ve kış sezonları için seçilen güç dönüştürücü sistemlerinin karşılama oranları ve çalışma süreleri belirlenerek teknoekonomik ve çevresel analizi yapılmıştır.

Eser Yeşil Bina’nın Şekil 3.2’de paylaşılan yıllık soğutma yükleri incelendiğinde 12 ayın 7 ayında 100 kW üzerinde soğutma ihtiyacı mevcuttur ve yenilikçi güç dönüştürücü sistemlerin kapasitesi baz yük olarak seçilen 100 kW’ın %20 fazlasını karşılamak üzere tasarlanmıştır. Artık ısı ile çalışan ABS’nin kapasitesi doğrudan BIG’nin ısı kapasitesi ile ABS’nin COP değerine bağlıdır. 80,5 kW kapasitesindeki ABS, Ocak ayından Şubat ayının sonlarına kadar devreye girmemektedir, yılın geri kalan aylarında %100 kapasiteyle çalışmaktadır. ABS, yılın 10 ayı boyunca tam

kapasiteli çalışması, enerji kaynağının artık oluşu, dolayısıyla işletme maliyetinin olmaması sebebiyle oldukça yüksek enerji verimliliği sağlamaktadır. TKIP'nin soğutma kapasitesi 40 kW'tır. TKIP'dan hem ısıtma hem de soğutma elde edilmektedir, Nisan ayına kadar ısıtma sistemine destek sağlamaktadır ve Nisan ayından Kasım ayına kadar TKIP'dan soğu elde edilmektedir. ABS ve TKIP'nin soğutma yükünü karşılamada yetersiz kaldığı pik yüklerde VRF devreye girmektedir. Enerji kaynağı şebeke elektriği olan VRF toplamda 143,5 kW cihaz kapasitesine sahiptir ve 2 adettir. VRF'nin 2 adet seçilmesi İM'ni düşürmektedir. Eser Yeşil Bina'nın Şekil 3.3'te paylaşılan yıllık ısıtma yükleri incelendiğinde 12 ayın 7 ayında 120 kW üzerinde ısıtma ihtiyacı mevcuttur ve yenilikçi güç dönüştürücü sistemlerinin kapasitesi baz yük olarak seçilen 120 kW'ın %30 fazlasını karşılamak üzere tasarlanmıştır. TKIP'nin ısıtma kapasitesi 40 kW'tır ve Nisan ayına kadar ısı elde edilmektedir. PV/T, sıcak su sağlamadığında ısıtma yükünü karşılamak için kullanılmaktadır. BIG'nin kapasitesi 115 kW'tır ve hem ısı eldesi hem de elektrik eldesinde kullanılan BIG, yılın 12 ayı kullanılmaktadır. TKIP ve BIG'nin ısıtma yükünü karşılamada eksik kaldığı pik yüklerde KA devreye girmektedir. Toplamda 81 kW kapasiteye sahip olan KA sistemde 2 adettir. KA'da kullanılan kaskat sistemi, 1. kazanın ısıtma yükünü karşılayamadığı durumda 2. kazanın devreye girmesi ile doğalgaz tasarrufu sağlar, kazanlardan birinin arızalanması durumunda ısıtma yükü pik yüke ulaştığında bile ısıtma yükünü kesintisiz olarak karşılamak mümkün olmaktadır. Eser Yeşil Bina'nın elektrik yükünü karşılamak için güneş enerjisi ile çalışan 20 adet 0,25 kW kapasiteli PV/T kullanılmıştır. Aynı alana sahip olup en fazla elektrik üretim kapasitesine sahip göze tipi, monokristalin silikondur [15]. Bu sebeple senaryo-2 kapasamında seçilen PV/T'nin göze tipi monokristalin silikondur. BIG sisteminin elektrik üretim kapasitesi 92 kW'tır. PV/T ve BIG'nin elektrik yükünü karşılamada eksik kaldığı pik yüklerde şebeke elektriği devreye girmektedir. Eser Yeşil Bina'nın sıcak su yükünü karşılamak için PV/T ve TKIP kullanılmıştır. TKIP soğutma yükünü karşıladığı dönemde PV/T devreye girmektedir. TKIP'dan ısıtma elde ederken 44 L/dakika hacminde sıcak su da elde edilmektedir. Melez sistemi oluşturmak için seçilen güç dönüştürücü sistemlerinin enerji verimliliği açısından yılın en az 4 ay kullanılıyor olmasına dikkat edilmiştir.



Senaryo-2’de kullanılan güç dönüştürücü sistemler ile karşıladıkları yüklerle ilişkin proses akış diagramı Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.10 Senaryo-2 için seçilen güç dönüştürücü sistemler

Bu tez kapsamında geliştirilen simülasyon kullanılarak senaryo-2 için teknoekonomik ve çevresel analizler yapılmıştır. Bu kapsamda çalışmanın ana çıktısı olan GÖS hesaplanmıştır. Sistemin İM hesabına bakım ve diğer giderler sezonluk %5 olacak şekilde ilave edilmiştir ancak güç dönüştürücü sistemlerin yıpranma payları İM’e dahil edilmemiştir. Tmc olarak ifade edilen karbon dioksit salımının önlenmesi de GÖS’ni kısaltmaktadır. Çizelge 3.4’te senaryo-2 kapsamında elde edilen çıktılar sunulmuştur.

Çizelge 3.4 Senaryo-2 çıktıları

	YM <sub>y</sub> [\$]	İM <sub>y</sub> [\$]	TC <sub>c</sub> [\$]	GÖS [Yıl]
<b>Senaryo-2</b>	947773,5	80146,1	8884,7	9.2

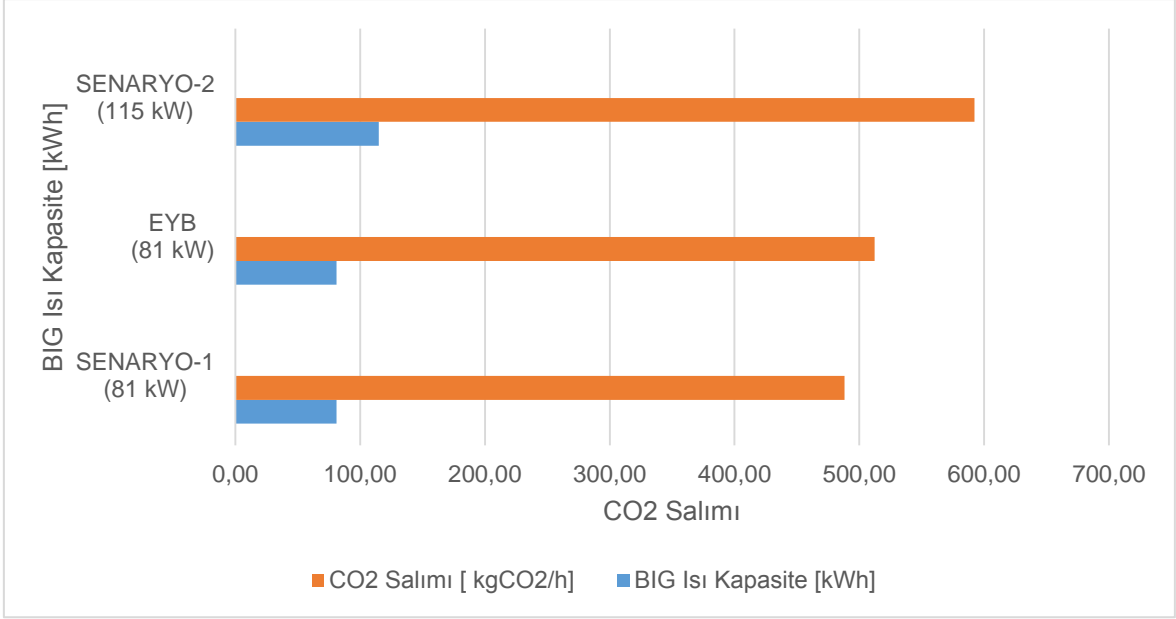
### 3.2.3 Mevcut durum ile geliştirilen senaryoların karşılaştırması

Excel tabanlı simülasyon programı ve Eser Yeşil Bina'nın yükleri kullanılarak Eser Yeşil Bina ve geliştirilen iki senaryonun teknik, ekonomik ve çevresel çıktıları elde edilmiştir. Çizelge 3.5'te Eser Yeşil Bina ve geliştirilen yenilikçi senaryoların elde edilen simülasyon çıktı ekranı verilmiştir. Geri ödeme süresi en uzun olan sistem senaryo-1'dir, bu durumun nedeni senaryo-1'in yatırım maliyetinin Eser Yeşil Bina'nın ve senaryo-2'nin yatırım maliyetlerinden yüksek olmasıdır. Çalışma sonucunda senaryo-2'nin geri ödeme süresi, senaryo-1 ve Eser Yeşil Bina'nın geri ödeme sürelerinden daha kısadır, bunun sebebi yatırım maliyetinin düşük olması ile karbon dioksit salım miktarındaki kazançtır. İşletme maliyeti en yüksek olan sistem senaryo-2'dir. İşletme maliyetinin yükselmesindeki temel neden elektrik ve doğalgaz gibi geleneksel kaynakların kullanımındaki artıştır.

Çizelge 3.5 Geliştirilen senaryolar için simülasyon çıktı ekranı

<b>SİMÜLASYON ÇIKTI EKRANI</b>			
<b>1. TEKNİK ÇIKTILAR</b>	<b>EYB</b>	<b>SENARYO-1</b>	<b>SENARYO-2</b>
Düzlemsel Toplaç Alanı [ $m^2$ ]:	8	110	-
Fotovoltaik Panel / Fotovoltaik Isı Melez Panel Alanı [ $m^2$ ]:	45	50	28,8
Elektrik Tüketimi [ $kWh$ ]:	128,7	131,6	288,8
Doğalgaz Tüketimi [ $kWh$ ]:	403	372,7	559,1
<b>2. EKONOMİK ÇIKTILAR</b>			
Toplam Yatırım Maliyeti [\$] :	1702319,4	1967953,6	947773,5
Toplam İşletme Maliyeti [\$] :	35161,4	32297,4	80146,1
Toplam Maliyet [\$] :	1737480,8	2000250,8	1027919,6
Geri Ödeme Süresi [Yıl]:	11,8	13,2	9,2
<b>3. ÇEVRESEL ÇIKTILAR</b>			
CO <sub>2</sub> Kazancı [\$]	5029,9	7321	8884,7

Yenilikçi güç sistemlerinin kullanımı ile geliştirilen melez sistem ve Eser Yeşil Bina'da da kullanılan, yılın 12 ayında çalışan BIG'nin çevreye olan etkisi Şekil 3.11'de paylaşılmıştır ve Şekil 3.11'in oluşturulmasında kullanılan veriler Ek-2'de verilmiştir.

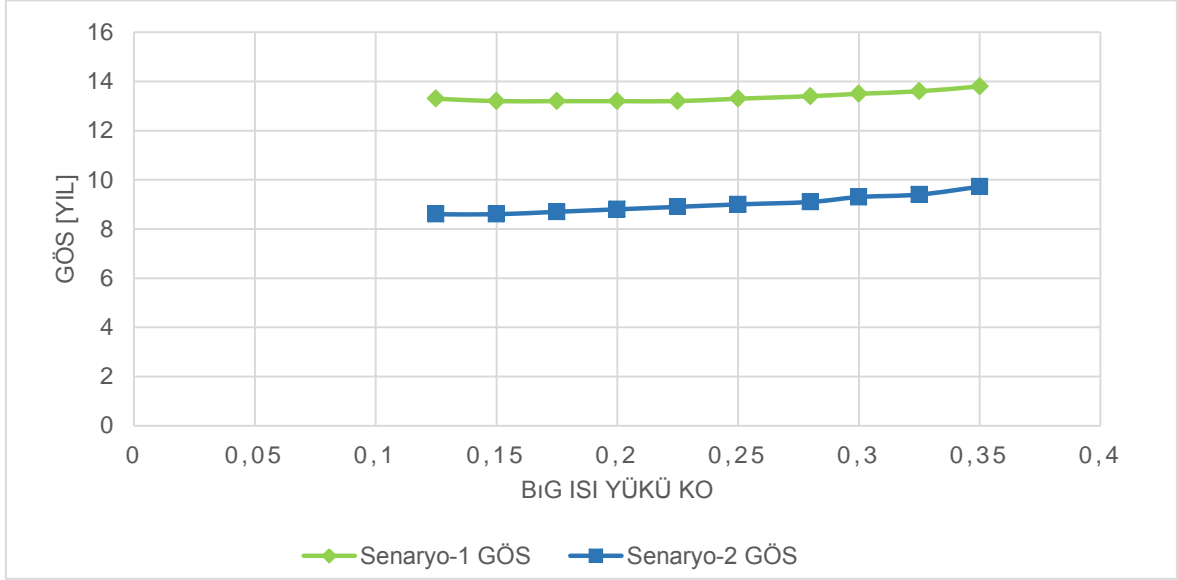


Şekil 3.11 BIG sisteminin ısı kapasitesindeki değişimin çevresel etkisi

Enerji kaynağı doğalgaz olan BIG sisteminin çevreye olan etkisi incelendiğinde, BIG sisteminin kapasitesindeki artış çevresel etkiyi arttırmaktadır, ancak aynı kapasiteye sahip BIG sistemlerinin çevresel etkisi birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Bu anlamda yenilikçi melez sisteminin çevresel etkisi belirlenirken, yenilikçi sistemi oluşturan tüm güç dönüştürücü sistemler birlikte değerlendirilmelidir. Bu kapsamda senaryo-1’de kullanılan BIG sisteminin ısı kapasitesi ile EYB’da kullanılan BIG’nin ısı kapasitesi birbirine eşit olmasına rağmen çevresel etkileri birbirinden farklılık göstermektedir. Bunun sebebi BIG sisteminin ısı kapasitesi ABS’nin ve KA’nın kapasitelerini doğrudan etkilemesidir. Senaryo-1 kapsamında kullanılan ABS’nin kapasitesi, EYB’da kullanılan ABS sisteminin kapasitesinden yüksek olması enerji kaynağı elektrik olan CH’ın kapasitesinde düşüşe neden olmaktadır ve bu durum karbon dioksit salım değerini de düşürmektedir. Yine benzer şekilde EYB’da kullanılan KA’nın kapasitesi senaryo-1’de kullanılan KA kapasitesinden yüksek olması da karbon dioksit salım değerini yükselterek çevresel açıdan sistemi etkilemektedir. Senaryo-2 kapsamında kullanılan BIG sisteminin kapasitesi senaryo-1 ve EYB kapasamında kullanılan BIG sistemlerinin kapasitesinden büyüktür ve artan doğalgaz tüketimi karbon dioksit salım miktarını da arttırmaktadır.

BIG sistemiyle birlikte melez sistemi oluşturan tüm güç dönüştürücü sistemlerin etkisini belirlemek için karşılama oranı kullanılmaktadır. Bu sayede bina yüklerini

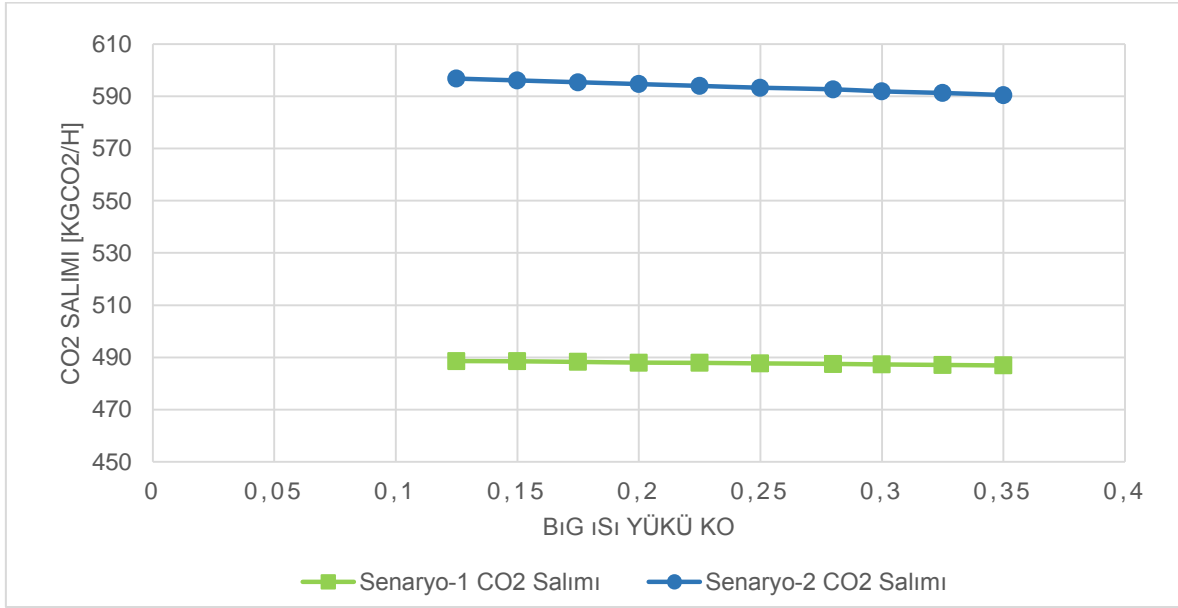
karşılama için birden fazla güç dönüştürücüden oluşan sistem içinde güç dönüştürücü sistemlerinin kapasitelerindeki değişim ile bina yükünü karşılama oranı belirlenmektedir. BIG sisteminin karşılama oranındaki değişim ile çalışmanın amaç fonksiyonu olan geri ödeme süresi ve karbon dioksit salımının azaltılması üzerindeki etkisi Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te verilmiştir. Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'ün oluşturulmasında kullanılan veriler Ek-3 ve Ek-4'te verilmiştir.



Şekil 3.12 BIG ısı yükü KO'nun GÖS üzerindeki etkisi

BIG sisteminin kapasitesinin artırılması BIG'nin bina yükünü karşılama oranını da yükseltmektedir. Bu durum hem yatırım maliyeti hem de doğalgaz tüketiminden dolayı işletme maliyetini yükseltmektedir ve BIG sisteminin karşılama oranındaki artış geri ödeme süresini uzatmaktadır. Şekil 3.12'de elde edilen diğer bir sonuç, BIG sisteminin ısı yükü KO 0,2 değerine kadar senaryo-1 ve senaryo-2 için çizdirilen grafikte yaklaşık olarak paralel ilerlerken, 0,2 değerinden sonra senaryo-1 ve senaryo-2'deki eğim trendi yükseliş göstermektedir. Bu durum yenilikçi melez sistemi oluşturan tüm güç dönüştürücüleri göz önünde bulundurarak açıklanabilir. BIG sisteminin ısı kapasitesindeki artış toplam yatırım maliyetini arttırmaktadır ancak işletme maliyetini oluşturan geleneksel güç dönüştürücü sistemlerinin kapasitelerinin azalması sonucu yakıt tüketimleri de azalmaktadır ve bunun sonucunda GÖS süresi yükselmektedir. Senaryo-2'deki BIG sisteminin toplam yatırım maliyeti içindeki, KO arttıkça yükselen payının yüzdesi, senaryo-1'e göre 0,2 KO değerinden sonra görece daha yüksektir. Ancak senaryo-2 için toplam

işletme maliyeti içindeki BIG sisteminin payının yüzdesi toplam yatırım maliyeti ile aynı yükseliş trendini göstermediği için GÖS'de senaryo-2'de görece daha fazla bir artış olduğu belirlenmiştir. Senaryo-2 kapsamında seçilen güç dönüştürücü sistemlere bakıldığında PV/T'nin sayısındaki artış BIG sisteminin toplam yatırım maliyeti içindeki oranını azaltmaktadır ve bu durumda PV/T toplam yatırım maliyetini domine etmektedir. Bunun sonucu olarak senaryo-2 GÖS süresinin yükseliş trendi görece azalmaktadır.



Şekil 3.13 BIG ısı yükü KO'nin karbon dioksit salımı üzerindeki etkisi

BIG sisteminin kapasitesinin artırılması, BIG sisteminin bina yükünü karşılama oranını da arttırmaktadır ve bu durumda diğer geleneksel güç dönüştürücü sistemlerinin kullanımı azalmaktadır. Bunun sonucunda karbon dioksit salımı BIG sisteminin KO'sundaki artışla birlikte azalma trendi göstermektedir, ancak bu etki özellikle senaryo-1'de ihmal edilebilir düzeydedir. Bunun yanı sıra BIG sisteminin ısı kapasitesinin artması soğutma sistemlerinden CH ve VRF ile ısıtma sistemlerinden KA kapasitesinin düşmesine neden olmaktadır ve bu değişim senaryo-2'de daha belirgindir. BIG sisteminin ısı kapasitesindeki değişimin bina soğutma ve ısıtma yüklerini karşılama için kullanılan güç dönüştürücü sistemlerinin doğalgaz tüketimi ve sonucunda karbon dioksit salımını dengelemesi sonucunda Şekil 3.13 üzerinde belirgin bir değişim trendi gözlenmeyecektir.

Geliştirilen senaryolar ve benzeri alternatifler, simülasyon programı aracılığıyla, son kullanıcının ihtiyaçları doğrultusunda, mühendisler tarafından karar verilerek en iyi sonucu ulaşmak mümkündür.

#### **4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

Sürdürülebilir binalarda enerji verimliliği ve ekonomik yönlerden karar verme destek algoritmasının geliştirilmesi kapsamında geleneksel yöntem ile bina yüklerinin karşılanmasına alternatif oluşturacak iki senaryo geliştirilmiştir. Geleneksel yöntemde sıcak su ve ısıtma ihtiyacının tamamı kazandan, soğutma ihtiyacı buhar sıkıştırımlı soğutma sisteminden ve elektrik ihtiyacı ise şebeke elektriğinden karşılanmaktadır. Geliştirilen yenilikçi melez sistem ile bina yüklerinin karşılanmasında yenilikçi güç dönüştürücü sistemler kullanılmıştır ve bu yenilikçi güç dönüştürücü sistemlerin kapasitesi örnek çalışma olarak kullanılan Eser Yeşil Bina'nın baz yükleri esas alınarak belirlenmiştir. Bina yükleri pik yüke ulaşması halinde yenilikçi sisteme destek olması için geleneksel sistem devreye girmektedir. Geliştirilen yenilikçi sistem teknik açıdan değerlendirildiğinde, güç dönüştürücü sistemlerin seçimi büyük önem taşımaktadır. Yenilikçi güç dönüştürücü sistemlerinin ısıtma, soğutma, sıcak su, elektrik yüklerinden birden fazlasını karşılamasına dikkat edilmiştir. Bu kapsamda BIG sisteminin hem elektrik hem de ısıtma ve sıcak su, TKIP'nin hem ısıtma ve sıcak su hem de soğutma sağlaması, PV/T'nin hem enerji hem de ısıtma ve sıcak su, kazanın hem sıcak su hem de ısıtma, güç sistemlerinin kaplayacağı alandan tasarruf edilmesini ve verimliliğin artırılması anlamında önemlidir. ABS'nin ADS, DSK gibi emsal soğutma sistemleri arasında tesir kat sayısının yüksek olması ve daha az alan kaplaması açısından avantaj sağlamaktadır ve bu çalışma kapsamında soğutma yükünü karşılaması amacıyla ABS'i kullanılmıştır. Kazanda kullanılan kaskat sistemi, doğalgaz tasarrufu sağlamaktadır. PV ve PV/T sistemlerinde göze tipi elektrik üretim kapasitesini doğrudan etkileyen bir parametredir, bu sebeple en yüksek elektrik üretim kapasitesine sahip göze tipi olan monokristalin silikon kullanılmıştır. Geliştirilen yenilikçi sistem ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, geleneksel yöntemin yatırım maliyeti, buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi ve kazana ödenen bedelden kaynaklanmaktadır. Geleneksel yöntemde işletme giderleri, doğalgaz ve elektrik tüketiminden kaynaklanmaktadır. Yenilikçi sistemde geliştirilen iki farklı senaryoda kullanılan güç dönüştürücü sistemlerin yatırım maliyeti güç dönüştürücü

sistemlerin kapasitelerine göre belirlenmiştir. Yatırım maliyetine güç dönüştürücü sistemler için ödenecek tesisat maliyeti de yansıtılmıştır. Yenilikçi sistemde işletme maliyeti, yenilenebilir enerji, artık ısı ve toprak ısı kullanan güç dönüştürücü sistemlerde ihmal edilmiştir. Bina yüklerinin pik yüke ulaşması durumunda kullanılan geleneksel güç dönüştürücü sistemlere ödenen bedel işletme maliyetini oluşturmaktadır. İşletme maliyetine güç dönüştürücü sistemlerin yıpranma payı dahil edilmemiştir, bakım ve diğer maliyetler sezonluk % 5 olarak kabul edilmiştir. Yenilikçi yöntem ile işletme maliyeti ve karbon dioksit salımlarının düşürülmesi sağlanmıştır, bu durum geri ödeme süresine pozitif yönde katkı sağlanmaktadır.

Çalışmada excel tabanlı simülasyon programı kullanılmıştır. Çalışmanın Ankara ilinde yapıldığı ve yıllık 3000 saat çalıştığı kabul edilmiştir. Aynı bina yükünü karşılamak için birden fazla güç dönüştürücü sistemin uyum içinde çalışması için karşılama oranı kullanılmıştır. Karşılama oranı, güç dönüştürücü sistemlerinin tam kapasite ile çalışmasının önüne geçerek binanın işletme maliyetinin düşürülmesine fayda sağlamaktadır. Simülasyon çalışması ile bir veri kaynağı elde edilmiştir, bu veri kaynağı ile oluşturulan her yeni melez sistemin teknoekonomik ve çevresel analizi yapılarak simülasyon çıktılarına ulaşılmaktadır. Bunun için simülasyon girdisi olarak binanın bulunduğu bölgenin iklim bilgisine, bina yüklerine ve güç dönüştürücü sistemlerinin özelliklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Simülasyon sonucunda teknik, ekonomik ve çevresel çıktılar sunulmaktadır.

Isıtma ihtiyacını karşılayacak senaryo-2'de seçilen yenilikçi güç dönüştürücü sistemlerinin kapasitesi baz yükün %30 fazlasını karşılamak üzere tasarlanmıştır. Soğutma ihtiyacını karşılayacak senaryo-2'de seçilen yenilikçi güç dönüştürücü sistemlerinin kapasitesi baz yükün %20 fazlasını karşılamak üzere tasarlanmıştır. Yapılan bu seçimler ışığında elde edilen sonuçlar ekonomik açıdan değerlendirildiğinde, kazanı ve enerji kaynağı elektrik olan buhar sıkıştırımlı soğutma sistemi ve değişken debili soğutucu sistemlerinde ekipman sayısının arttırılması yatırım maliyetini yükseltirken işletme maliyetini düşürmektedir. Bunun sebebi güç dönüştürücü sistemin tam kapasiteli yakıt veya şebeke elektriği kullanımının önüne geçilmesidir. Geri ödeme süresi en uzun olan senaryo-1'in yatırım maliyeti 1967953,6 \$, Eser Yeşil Bina'nın yatırım maliyeti 1702319,4 \$ ve senaryo-2'nin yatırım maliyeti 947773,5 \$'dır. Geri ödeme süresini etkileyen parametrelerden biri olan yatırım maliyeti arttıkça geri ödeme süresi de

artmaktadır. Ancak işletme maliyetini etkileyen en önemli faktörlerden biri olan cihazın yakıtı olduğu için geri ödeme süresi ve işletme maliyeti arasında doğrudan bir ilişkilendirme yapılması çok mümkün değildir. Geri ödeme süresi en uzun olan senaryo-1'in işletme maliyeti Eser Yeşil Bina ve senaryo-2'ye göre en düşük işletme maliyetidir ve bu değer 32297,4 \$'dır. Eser Yeşil Bina'nın işletme maliyeti 35161,4 \$ ve senaryo-2'nin işletme maliyeti 80146,1 \$'dır.

Bina yükleri çalışmanın girdisi olarak kullanılan Eser Yeşil Bina'nın geri ödeme süresi 11,8 yıldır. Bu çalışmanın amaç fonksiyonu olan geri ödeme süresi geliştirilen yenilikçi senaryolardan ilki için 13,2 yıl, ikinci senaryo için 9,2 yıl olarak hesaplanmıştır. Çalışmada baz yükler yenilikçi güç dönüştürücü sistemlerle karşılanmıştır ve bu sistemlerin karbon dioksit salım değerleri sıfır kabul edilmiştir, pik yükler için kullanılan geleneksel güç dönüştürücü sistemler kullanılarak belli ölçüde karbon dioksit salımının önüne geçilmiştir. Eser Yeşil Bina'nın geri ödeme süresi 11,8 yıl iken karbon dioksit salımı 512,2 kgCO<sub>2</sub>/h'tir ancak senaryo-1 için ödeme süresi 13,2 yıl iken karbon dioksit salımı 488,1 kgCO<sub>2</sub>/h'tir. Karbon dioksit kazanımının artması geri ödeme süresinin azalması ile ilişkilidir ancak elde edilen sonuçların aksi yönde çıkmasının sebebi Eser Yeşil Bina'da yenilikçi güç dönüştürücü sistemlerin senaryo-1'de kullanılan yenilikçi güç dönüştürücü sistemlerden görece daha düşük kapasiteye sahip olması, dolayısıyla aynı bina yüklerini karşılamak için enerji kaynağı doğalgaz ve şebeke elektriği olan geleneksel güç dönüştürücü sistemlerine yansıyan kapasitelerindeki artıştır. Senaryo-2'nin geri ödeme süresi 9,2 yıldır ve toplam karbon dioksit salımı, 592,3 kgCO<sub>2</sub> olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışma kapsamında BIG sisteminin karşılama oranındaki değişim ile çalışmanın amaç fonksiyonu olan geri ödeme süresi ve karbondioksit salımının azaltılması üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar göstermektedir, BIG sisteminin karşılama oranındaki değişimin senaryo-2'nin GÖS üzerindeki etkisi senaryo-1 üzerindeki etkiye göre daha belirgindir. Bunun sebebi, senaryo-2'deki BIG sisteminin toplam yatırım maliyeti içindeki, KO arttıkça yükselen payının yüzdesi, senaryo-1'ye göre daha yüksektir. Senaryo-2 kapsamında seçilen güç dönüştürücü sistemlere bakıldığında PV/T'nin sayısındaki artış BIG sisteminin toplam yatırım maliyeti içindeki oranını azaltmaktadır ve bu durumda PV/T toplam yatırım maliyetini domine etmektedir. BIG sisteminin kapasitesinin artırılması, BIG



sisteminin bina yükünü karşılama oranını da arttırmaktadır ve bu durumda diğer geleneksel güç dönüştürücü sistemlerinin kullanımı azalmaktadır. Bunun sonucunda karbon dioksit salımı BIG sisteminin KO'ndaki artışla birlikte azalma trendi göstermektedir, ancak bu etki özellikle senaryo-1'de ihmal edilebilir düzeydedir. Bunun yanı sıra BIG sisteminin ısı kapasitesinin artması soğutma sistemlerinden CH ve VRF ile ısıtma sistemlerinden KA kapasitesinin düşmesine neden olmaktadır ve bu değişim senaryo-2'de daha belirgindir. BIG sisteminin ısı kapasitesindeki değişimin bina soğutma ve ısıtma yüklerini karşılaması için kullanılan güç dönüştürücü sistemlerinin doğalgaz tüketimi ve sonucunda karbon dioksit salımını dengelemesi sonucunda karbon dioksit salım konusunda belirgin bir değişim trendi gözlenmeyecektir.

İleride yapılacak çalışmalarda elektrik yüklerinin de ısıtma ve soğutma yüklerinde olduğu gibi saatlik ölçümlerinin yapılması, işletme maliyetine güç dönüştürücü sistemlerin yıpranma payının eklenmesi, ısı ve soğu eldesinin depolanarak yük dalgalanmalarının azaltılması ve pik yüklerde geleneksel sisteme ihtiyacın azaltılması gibi hususların irdelenmesi ve bina otomasyon sistemlerinin de dahil edilmesi daha duyarlı bir analiz yapılabilecektir.

## KAYNAKLAR LİSTESİ

- [1] Enkvist PA, Dinkel J, Lin C. Impact of the financial crisis on carbon economics: Version 2.1 of the global green house gas abatement cost curve. McKinsey& Company; 2010.
- [2] European commission, Communication from the commission to the European parliament, the Council, the European Economic and social committee and the committee of the regions – 2020 by 2020 Europe's climate change opportunity.com; 2008, 30 final.
- [3] Zhang Y., Wang J., Hu F., Wang Y., Comparison of Evaluation Standards For Green Building in China, Britain, United States. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2017; 68: 262- 271.
- [4] Iodice P., Dentice M., Abagnale C., Cardone M., Energy, Economic and Environmental Performance Appraisal of a Trigeneration Power Plant For a New District: Advantages of Using a Renewable Fuel. Applied Thermal Engineering 2016; 95: 330- 338.
- [5] Wang J., Wu J., Zheng C., Analysis of Tri-Generation System in Combined Cooling and Heating Mode. Energy and Buildings 2014;72: 353-360.
- [6] Li H., Zhang X., Yang C., Analysis on All-Day Operating Solar Absorption Refrigeration System with Heat Pump System. Procedia Engineering 2015; 121: 349- 356.
- [7] Marreo A. I., Oliveira A. C., Performance Simulation of a Solar-Assisted Micro- Tri- Generation System: Hotel Case Study. International Journal of Low- Carbon Technologies Advance Access Published October 25, 2011; 6:309-317.
- [8] Nosrat A. H., Swan L. G., Pearce J. M., Improved Performance of Hybrid Photovoltaic- Cogen Systems Including Effects of Battery Storage. Energy 2013; 49: 366- 374.
- [9] Atılğan A. İ., Türkmen U., Farklı Akışkanlarda Değişken Soğutucu Akışkan Debili (VRF) Sistemin Ekserji ve Termodinamik Analizlerinin Karşılaştırılması. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 2017; 32 (2): 343-353.
- [10] Askari B. I., Sadegh O. M., Ameri M., Energy Management and Economics of Trigeneration System Considering the Effect of Solar PV, Solar Collector and Fuel Price. Energy For Sustainable Development 2015; 26: 43-55.
- [11] Orhan B., Güngör A., Adsorpsiyonlu ve Adsorpsiyonlu İklimlendirme Sistemleri Performans Değerlendirmesi. Tesisat Mühendisliği, Sayı 130, Temmuz/Ağustos 2012.

- [12] Memon A. G., Memon R. A., Parametric Based Economic Analysis of a Trigenation System Proposed For Residential Buildings. *Sustainable Cities and Society* 2017;34: 144-158.
- [13] Zhao X., Fu L., Li F., Liu H., Design and Operation of a Tri-Generation System For a Station in China. *Energy Conversion and Management* 2014;80: 391- 397.
- [14] Hakeem, Payman Mohammed Hakeem, Irak'ta Bulunan Bir Toplu Konut Projesi İçin Solar Enerji Destekli Trijenerasyon Sistem Tasarım ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2017.
- [15] Yazman, Ercan, 0.4 MW Trijenerasyon Sisteminin Modellenmesi, Motor Seçimi ve Verim Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 2015.
- [16] Doğan, Ali Rıza, Güneş Enerjisi Destekli Alternatif Isıtma Sistemlerinin Enerji ve Ekonomi Yönünden Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2012.
- [17] Pastakkaya, Bilsay, Bir Konutun Isıtılması ve Soğutulmasında Güneş Enerjisi Kaynaklı Absorpsiyonlu Sistemlerin Kullanılması, Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2012.
- [18] Emmi G., Zarella A., De Carli M., Galgaro A, An Analysis of Solar Assisted Ground Heat Pumps In Cold Climates. *Energy Conversion and Management* 2015; 106:660-675.
- [19] <https://www.enerjibes.com/gunes-enerjisinin-avantajlari-dezavantajlari-nelerdir/> (12.04.2017)
- [20] <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> (28.03.2017)
- [21] <https://www.legrand.com/en/our-solutions/green-building/green-building-description> (08.08.2017)
- [22] Maurizio A., Giovanni C., Eduardo De F., Power Reduction in Vapour Compression Cooling Cycles by Power Regeneration. 69<sup>th</sup> Conference of the Italian Thermal Engineering Association, ATI 2014, 2015; 81: 1184-1197.
- [23] <https://www.termodinamik.info/makale/kazanlarin-dogalgaza-donusum-teknikleri> (21.05.2017).
- [24] Angrisani G., Akisawa A., Marraso E., Roselli C., Sasso M., Performance Assessment of Cogeneration and Trigenation Systems For Small Scale Application. *Energy Conversion and Management* 2016; 125: 194-208.
- [25] Jradi M., Riffat S., Tri-generation Systems: Energy Policies, Prime Movers, Cooling Technologies, Configurations and Operation Strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014; 32: 396-415.

- [26] Viessman, Paket Tipi Kojenerasyon İle Elektrik ve Isı Üretimi <https://www.viessmann.com.tr/> (03.02.2016)
- [27] Angrisani G., Akisawa A., Marraso E., Roselli C., Sasso M., Experimental Results of a Micro- Trigenation Installation. Applied Thermal Engineering 2012; 38:78-90.
- [28] Deng J., Wang R. Z., Han G. Y., A Review of Thermal Activated Cooling Technologies For Combined Cooling, Heating and Power Systems. Progress in Energy and Combustion Science 2011; 37-172-203.
- [29] Antonyraj G., Economic Analysis of Solar Assisted Absorption Chiller For a Commercial Building, Yüksek Lisans Tezi, University of Tennessee, ABD, 2012.
- [30] Arora, A., Kaushik, S.C., Theoretical Analysis of LiBr/H<sub>2</sub>O Absorption Refrigeration Systems. International Journal of Energy Research 2009; 33:1321– 1340.
- [31] Gomri, R. Thermodynamic evaluation of Triple Effect Absorption Chiller. Second International Conference Thermal Issues in Emerging Technologies 2008.
- [32] Huangfu Y., Wu J. Y., Wang R. Z., Xia Z. Z., Experimental Investigation of Adsorption Chiller For Micro- Scale BCHP System Application. Energy Build 2007; 39 (2): 120-7.
- [33] Mei L., Dai Y. J., A Technical Review on Use of Liquid- Desiccant Dehumidification For Air- Conditioning Application. Renewable Sustainable Energy Reviews 2008; 12:662- 89.
- [34] Lownestein A., Renewable of Liquid Desiccant Technology For HVAC Applications. HVACR Res 2008; 14 (6): 819- 39.
- [35] Eyriboyun M., Isı Geri Kazanımlı Değişken Akışkan Debili (VRV/VRF) Klima Sistemlerinin Termodinamiği ve Akış Kontrolü. TMMOB MMO.
- [36] Sarbu I., Sebarchievici C., General Review of Ground- Source Heat Pump Systems For Heating and Cooling of Buildings. Energy Building 2014; 70: 441-54.
- [37] <https://www.quora.com/What-is-a-flat-plate-solar-collector> (18.11.2017)
- [38] Iordanou G., Flat-Plate Solar Collectors For Water Heating Improved Heat Transfer For Application in Climatic Conditions of the Mediterranean Region, Doktora Tezi, School of Engineering and Computing Science Durham University, İngiltere, 2009.

- [39] Pearce J., Photovoltaics a Path to Sustainable Futures. *Futures* 2002; 34: 66-74.
- [40] Kirkegaard J. F., Hanemann T., Weischer L., Miller M., Toward a Sunny Future Global Integration in the Solar PV Industry. World Resources Institute Working Paper Series 10-6, 2010.
- [41] Nosrat H. A., Swan G. L., Pearce J. M., Improve Performance of Hybrid Photovoltaic- Trigenation Systems Over Photovoltaic- Cogen Systems Including Effects of Battery Storage. *Energy* 2013; 366: 374.
- [42] Branker K., Pearce J. M., Financial Return For Government Support of Large– Scale Thin- Film Solar Photovoltaic Manufacturing in Canada. *Energy Policy* 2010; 38; 4291- 303.
- [43] Pearce J. M., Expanding Photovoltaic Penetration With Residential Distributed Generation From Hybrid Solar Photovoltaic + Combined Heat and Power Systems. *Energy* 2009; 34: 1947e54.
- [44] Mostofi M., Nosrat A. H., Pearce J. M., Institutional Scale Operation Symbiosis of Photovoltaic and Cogeneration Energy Systems. *International Journal of Environmental Science and Technology* 2011; 8 (1): 31-44.
- [45] Daghigh R., Ruslan M. H., Sopian K., Advances in Liquid Based Photovoltaic/ Thermal (PV/T) Collectors. *Renewable Sustainable Energy Reviews* 2011; 15: 4156-4170.
- [46] Othman M. Y., Yatim B., Sopian K., Abu Bakar M. N., Performance Studies on a Finned Double- Pass Photovoltaic- Thermal (PV/T) Solar Collector. *Desalination* 2007; 209: 43- 9.
- [47] Sopian K., Advances in Photovoltaic- Thermal (PV/T) Solar Collector. *Proceedings of the 2nd WSEAS/ IASME International Conference on Energy Planning, Energy Saving, Environmental Education ( EPESE), 2008.*
- [48] KILKIŞ, Birol ve KILKIŞ, Şiir, Yenilenebilir Enerji Kaynakları İle Birleşik Isı ve Güç Üretimi, Teknik Yayın No:32, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, Ankara, 2015.
- [49] <https://gazelektrik.com/tedarikciler/enerjisa-ankara/birim-fiyat> (09.05.2017)
- [50] Garanti Bankası 2015 Elektrik Sektör Raporu, 2015-2025 Projeksiyonu.
- [51] <https://gazelektrik.com/s-s-s/dogalgaz-metrekup-fiyati> (11.05.2017)
- [52] <http://www.eseryesilbina.com/> (02.02.2017)

## EKLER LİSTESİ

- Ek- 1 Eser Yeşil Bina'da Kullanılan Güç Dönüştürücü Sistemleri ve Özellikleri
- Ek-2 BIG Sisteminin Isı Kapasitesindeki Değişimin Çevresel Etkisi
- Ek-3 BIG Isı Yüğü KO'nın GÖS Üzerindeki Etkisi
- Ek-4 BIG ısı yüğü KO'nın Karbon Dioksit Salımı Üzerindeki Etkisi

Ek-1 Eser Yeşil Bina'da Kullanılan Güç Dönüştürücü Sistemleri ve Özellikleri

Enerji Kaynağı	Dönüştürücü	Girdi	Çıktı	Kullanıldığı Sezon	Ekipmanın Markası	Model	Sayısı [Adet]	Ekipmanın Kapasitesi	Ekipman Özellikleri
Rüzgar Enerjisi	Rüzgar Türbini	Rüzgar	Elektrik	Yaz-Kış				1 kW	
	Rüzgar Enerji Santrali	Rüzgar	Elektrik	Yaz-Kış					
Güneş Enerjisi	Fotovoltaik Güneş Pili	Yüzeye Dik Işınım	Elektrik	Yaz-Kış	Sharp	NT 180U1	35		%13.5 Monokristal Silikon
	Düzlemsel Toplaç	Yüzeye Dik Işınım	Sıcak Su	Yaz-Kış	Buderus Logasol		4		Toplam Alanı: 8 m <sup>2</sup>
Doğalgaz	Birlikte Isı Ve Güç Sistemi	Yakıt	Elektrik Isı Soğu	Yaz-Kış	Vitobloc	200EM-50/81	1		
Birlikte Isı Güç Sistemi	Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi	Isı	Soğu	Yaz	Yazaki	WFC-SH20	1	50 kW	

Enerji Kaynağı	Dönüştürücü	Girdi	Çıktı	Kullanıldığı Sezon	Ekipmanın Markası	Model	Sayısı [Adet]	Ekipmanın Kapsitesi	Ekipman Özellikleri
Binada Üretilen Elektrik	Isı Pompası	Elektrik	Isı	Yaz-Kış	Buderus Logatherm	WRW 67R	1	Isıtma: 60 kW	
			Soğu					Soğutma: 53 kW	
Şebeke Elektriği	Çiller	Elektrik	Soğu	Yaz	Trane	RTAD 115	2	268.97 kW	Vidalı Kompresör
Şebeke Elektriği	Boyer	Elektrik	Sıcak Su	Yaz-Kış	Tanpera	1000/10-EV ve 500/10-EV	2	40 kW ve 20 kW	
Doğalgaz	Kazan	Yakıt	Isı	Kış	Buderus	GB-162	3	80 W	Yoğuşmalı
	Termal Enerji Deposu	Isı-Soğu	Isı-Soğu	Yaz-Kış			2		20 L
	Buz Tank	Soğu	Soğu	Yaz	Baltimore	TSU-L 184 M	1	647 kWh	



## Ek-2 BIG Sisteminin Isı Kapasitesindeki Değişimin Çevresel Etkisi

SİSTEMLER	BIG Isı Kapasite [kWh]	CO2 Salımı [ kgCO2/h]
SENARYO-1	81	488,1
Eser Yeşil Bina	81	512,2
SENARYO-2	115	592,3

## Ek-3 BIG Isı Yükü KO'nun GÖS Üzerindeki Etkisi

BIG Isı Kapasitesi [kWh]	BIG Isı KO	Senaryo-1 GÖS [Yıl]	Senaryo-2 GÖS [Yıl]
50	0,125	13,3	8,6
60	0,15	13,2	8,6
70	0,175	13,2	8,7
80	0,2	13,2	8,8
90	0,225	13,2	8,9
100	0,25	13,3	9,0
110	0,28	13,4	9,1
120	0,3	13,5	9,3
130	0,325	13,6	9,4
140	0,35	13,8	9,72

## Ek-4 BIG ısı yükü KO'nun Karbon Dioksit Salımı Üzerindeki Etkisi

BIG Isı Kapasitesi [kWh]	BIG Isı KO	Senaryo-1 CO2 Salımı [kgCO2/h]	Senaryo-2 CO2 Salımı [kgCO2/h]
50	0,125	488,6	596,8
60	0,15	488,5	596,1
70	0,175	488,3	595,4
80	0,2	488,0	594,7
90	0,225	487,9	594,0
100	0,25	487,7	593,3
110	0,28	487,5	592,7
120	0,3	487,3	591,9
130	0,325	487,1	591,3
140	0,35	486,9	590,5