



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**YÜKSEK PERFORMANSLI BİNALARDA
ENERJİNİN AKILCI KULLANIMI İÇİN
MEKANİK TASARIM VE OPTİMUM
KONTROL ALGORİTMASININ
GELİŞTİRİLMESİ**

Ayşe ESER GÜLBEDEN

DOKTORA TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ayşe ESER GÜLBEDEN tarafından hazırlanan “YÜKSEK PERFORMANSLI BİNALARDA ENERJİNİN AKILCI KULLANIMI İÇİN MEKANİK TASARIM VE OPTİMUM KONTROL ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİ” adlı tez çalışması .02.08.2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof.Dr. Saim KOÇAK

Danışman

Prof. Dr. Şefik BİLİR

Üye

Prof.Dr. Halil Kürşat ERSOY

Üye

Prof.Dr. Ali KAHRAMAN

Üye

Dr.Öğr. Üyesi Aziz Hakan ALTUN

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 3120176 nolu proje ile desteklenmiştir.
Prof.Dr. BİROL KILKIŞ bu tez çalışmasının ikinci danışmanıdır.

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Ayşe ESER GÜLBEDEN
02.08.2019



ÖZET

DOKTORA TEZİ

YÜKSEK PERFORMANSLI BİNALARDA ENERJİNİN AKILCI KULLANIMI İÇİN MEKANİK TASARIM VE OPTİMUM KONTROL ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİ

Ayşe ESER GÜLBEDEN

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Şefik BİLİR

2019, 119 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Şefik BİLİR
Prof. Dr. Saim KOÇAK
Prof. Dr. Halil Kürşat ERSOY
Prof. Dr. Ali KAHRAMAN
Dr. Öğr. Üyesi Aziz Hakan ALTUN

Bu tezde, yüksek performans binalarında, yenilenebilir enerji sistemleri ile desteklenmiş melez elektromekanik sistemlerin optimum tasarım ve işletimi için Termodinamiğin 2.Yasası temelinde, enerjinin nitelik ve niceliğinin bir arada akılcı kullanımına yönelik bir analiz metodu geliştirilmiştir.

Geliştirilen metot, değişik elektromekanik tesisat sistemlerinin o andaki bina ve dış ortam koşullarına bağlı olarak, işletim pay ve önceliklerinin dinamik ekserji ortamında optimum karar verme mekanizmasını gerçekleştirmektedir. Metodun geliştirilmesinde Akılcı Ekserji Yönetim Modeli (REMM) kullanılarak optimum tasarım ve işletim algoritması da geliştirilmiştir.

Geliştirilen metot bilgisayar ortamında kullanılarak, örnek bir yüksek performans binasının mevcut tesisat ve otomasyon sistemi incelenmiş, sistemlerin çoklu/eş zamanlı performans takibi sanal ortamda yapılarak optimum sistem seçimleri belirlenmiştir. Modelin gerçek zamanlı ve fiziki olarak optimum kontrol amaçlı kullanılmasından önce seçilen tüm cihazlar aynı kalmak koşuluyla binanın ilk yıl işletiminde fark edilir bir performans gözlenmemesi sonucu sadece optimum sistem seçiminin yeterli olmadığı aynı model özelinde optimum kontrol mekanizmasının oluşturulmasının da ön koşul olduğu görülmüş, TÜBİTAK Projesi kapsamında yenilikçi ve ekserji tabanlı optimum sistem kontrol algoritması geliştirilmiştir. Bu sayede aynı model çatısı altında Tasarım ve İşletmenin tümleşmesi ile netice alınabilmektedir.

Geliştirilen Model iki alanda sektöre değer katmıştır. Birincisi, belli bir bina için iklimsel ve işletimsel anlamda simülasyonlar yapılarak tekrarlamalı bir yaklaşımla tasarımın enerji ve ekserji verimliliği yanında en az CO₂ salım kabiliyetlerinin optimize edilebilmesidir. İkincisi, model gerçek zamanda ve gerçek verilerle işlenerek dinamik optimum bina otomasyonu gerçekleştirilmesidir.

Ekserji ve ortak iklim tabanında değerlendirilen sonuçlar, enerji tüketiminin alışılmış algoritma değerlerinin altında ortalama % 33 oranında azaldığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Akılcı Ekserji Yönetim Modeli, Bina Otomasyonu, Enerjinin Akılcı Kullanımı, Optimum Kontrol Algoritması, Yenilenebilir Enerji, Yeşil Bina, Yüksek Performans Binası.

ABSTRACT

PhD THESIS

DEVELOPMENT OF THE OPTIMUM CONTROL AND MECHANICAL DESIGN ALGORITHM FOR THE RATIONAL USE OF ENERGY IN HIGH PERFORMANCE BUILDINGS

Ayşe ESER GÜLBEDEN

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering

Advisor: Prof. Dr. Şefik BİLİR

2019, 119 Pages

Jury

Prof. Dr. Şefik BİLİR

Prof. Dr. Saim Koçak

Prof. Dr. Halil Kürşat ERSOY

Prof. Dr. Ali KAHRAMAN

Dr. Öğr. Üyesi Aziz Hakan ALTUN

In this study, a method of analysis is developed for the rational use of energy in terms of quality and quantity, on the basis of 2nd Law of Thermodynamics for optimum design and operation of hybrid electromechanical systems supported by renewable energy systems in high performance buildings.

This method, performs the optimum decision making mechanism, the operation proportions and priorities within dynamic exergy platform of various electromechanical installation systems, depending upon the instant building and outdoor environmental conditions. In development of the method, REMM is used to develop an optimum design and operation algorithm.

The existing installation and automation system of the building is studied within computer platform multiple and simultaneous performance of the systems is monitored in virtual medium and optimum system options are determined. Upon not observing a discernible performance in the first year operation, before using the model in real time and physically in the subject building, it has been observed that optimum system selection is not the only criteria and that an optimum control mechanism is needed as a prerequisite, and an innovative exergy based optimum system control algorithm is developed within the scope of TUBITAK project. This made it possible to achieve integrating design and operation under the roof of the same model.

The model developed has added value to industry in two domains. First, for a specific building by performing climatic and operational simulations, with an iterative approach in addition to energy and exergy efficiency, it is possible to optimize minimum CO₂ emission. Second, by working on the model with real time obtained data a dynamic optimum building automation can be realized.

The results evaluated at exergy and common climate base, showed that energy consumption decreased by 33% on average below the results of existing conventional algorithm.

Keywords: Building Automation, Green Building, High Performance Building, Optimum Control Algorithm, Rational Exergy Management Model, Rational use of Energy, Renewable Energy.

ÖNSÖZ

Sabır, hoşgörü ve inançla bu tezin sonuçlanması için her türlü desteği veren Tez Danışmanım Sn. Prof. Dr. Şefik BİLİR'e, değerli bilgilerini ve kıymetli zamanını esirgemeyerek tezin tüm aşamalarında sürekli katkı sağlayan ve yönlendiren ikinci Danışmanım Sn. Prof. Dr. Birol KILKIŞ'a, programın yazımında ve sınanmasında teknik destek veren Bilgisayar Mühendisi Sn.Güven ŞENTÜRK'e, örnek bina olarak verilerini kullanma ve algoritmayı deneme konusunda hiçbir kısıt getirmeyen Eser Yeşil Binasının Üst Yönetimine, makale ve yayınlarını temel kaynak olarak kullandığım Sn.Doç. Dr. Şiir KILKIŞ'a, 3120176 numaralı 1501 projesi ile bu tezin hazırlanmasında dolaylı olarak desteği bulunan TÜBİTAK'a ve zamanlarından çaldığım aileme teşekkür ederim.

Ayşe ESER GÜLBEDEN
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xiv
ŞEKİL LİSTESİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Yüksek Performans Binası Nedir?.....	5
1.2. Ekserji Nedir?	6
1.3. Enerjinin Akılcı Kullanımı, Akılcı Ekserji Yönetim Modeli (REMM).....	6
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM	17
3.1. Ekserji Tabanlı Model	18
3.1.1. Hiyerarşik ekserji modellemesi	19
3.1.2. Saatlik optimizasyon denklemi	20
3.1.3. Bütünleşik CO ₂ salım çözümlemesi ve çevresel etki denklemi	22
3.1.4. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar	24
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	26
4.1. Algoritma Çatkısının Tanımlanması	26
4.1.1. Veri modülü	27
4.1.1.1. Meteorolojik veri bankası	28
4.1.1.2. Sistem ve cihaz birim fiyatları veri bankaları	28
4.1.1.3. Cihaz ve sistem özellikleri veri bankaları	28
4.1.1.4. Yapıya özgün saatlik benzetim verileri	28
4.1.1.5. Saatlik güneşlenme ve rüzgâr veri bankaları	29
4.1.2. Sistem çözümleme modülü	29
4.1.3. Değerlendirme ve raporlama modülü	30
4.1.3.1. Enerji verimliliği hesap algoritması	30
4.1.3.2. Ekserji verimliliği hesap algoritması	30
4.1.3.3. CO ₂ salım kestirim algoritması	31
4.1.3.4. Değerlendirme, raporlama ve veri saklama algoritmaları	31
4.2. Hiyerarşik Yapılı Sistem Çatkısı	31
4.2.1. Saatlik bina yükleri	37
4.2.2. Saatlik performanslar	38
4.3. Saatlik Tabanda Bina Benzetim Yükleri (Sistem Çözümleme Modülü).....	40
4.3.1. Simülasyon çıktıları kullanılan yüksek performanslı yeşil bina	40

4.3.2. Simülasyon çıktıları kullanılan binanın konumu ve mekanik tesisatı	41
4.4. Excel Tabanlı Optimum İşletim Algoritması.....	47
4.5. İşletim Senaryoları	54
4.5.1. Referans senaryo - 1	54
4.5.2. Referans senaryo - 2	56
4.5.3. Referans senaryo - 3	56
4.6. Tasarımda Kullanılan Sistem ve Cihazların Karar Süreci Akış Şemaları	57
4.6.1. Elektrik deposu karar şeması	57
4.6.2. Sıcak su deposu karar şeması.....	57
4.6.3. Sıcak su deposu karar şeması.....	58
4.6.4. Toprak kaynaklı ısı pompası karar şeması.....	59
4.6.5. ABS karar şeması.....	60
4.6.6. Buz tankı karar şeması	61
4.6.7. Güneş enerjisi karar şeması	61
4.6.8. Isı kazanı karar şeması	62
4.6.9. Elektrikli soğutma grubu karar şeması	62
4.6.10. Rüzgar türbini karar şeması	63
4.7. Akış Diyagramı	63
4.8. Algoritmanın Yüksek Performanslı Bir Binada Sınanması.....	67
4.8.1. Yüksek performanslı gerçek binanın mekanik tesisatı	68
4.8.2. Binanın TS 825'e göre hesaplanan dış hava yükleri.....	70
4.8.3. Yüksek performanslı binadaki cihazlar ve performanslarının izlenmesi.....	73
4.8.4. Gerçek binaya uyarılama	78
4.8.4.1. Arayüz formülleri	79
4.8.4.2. Kojenerasyon (BIG) kapasite hesapları	82
4.8.4.3. PES (BIG açıkken sağlanan yakıt tasarrufu)	83
4.8.4.4. Buz depolama ve ısı pompası	83
4.8.4.5. Yenilenebilir enerji oranı (YEO).....	84
4.8.4.6. Ortalama akılcı ekserji yönetim verimi	84
4.8.4.7. Tasarruflar.....	85
4.8.4.8. Akılcı ekserji verim katsayısı, (AEV) _K	86
4.8.4.9. CO ₂ hesapları	86
4.8.4.10. CO ₂ azaltım katsayısı	87
4.8.4.11. Ekserji verimsizliğine bağlı önlenilebilir 2. yasa CO ₂ salımı	87
4.8.4.12. CO ₂ hesapları (piyasa değeri)	87
4.8.5. Bina ekserji analizi.....	88
4.8.6. Örnek bir günün saatlik rapor çıktıları.....	90
4.9. Sonuçların Alışılmış (mevcut) Yeşil Bina Otomasyonu ile Kıyaslanması.....	104
4.9.4. Sonuçların yakıt maliyeti üzerindeki etkisi	109
4.9.5. Sonuçların ekserji tabanlı CO ₂ salımları üzerinde etkisi	109
4.9.6. Amaç fonksiyonunun değerlendirilmesi	111
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	113
5.1. Sonuçlar	113
5.2. Öneriler	114
KAYNAKLAR	115
EKLER	119

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a		: Ağırlık oranı (Parametre ağırlık oranı)
ABS_c	kW	: ABS (Soğutma kapasitesi)
AEV_K		: Akılcı Ekserji Yönetim Verimi Katsayısı
Alt	m	: Rakım
c		: Pik yük oranı
C		: Güç/Isı Oranı
C_{abs}	kWh	: ABS mevcut kapasitesi
C_{BIG}		: BIG yük oranı (Katalog değeri)
C_{bt}	kWh	: Buz deposunun karşıladığı soğutma yükü
C_{CH1}	kWh	: Su soğutma grubu 1 (Anlık kapasite)
C_{CH2}	kWh	: Su soğutma grubu 2 (Anlık kapasite)
C_i	kgCO ₂ /kWh	: Fosil tabanlı yakıtlar için CO ₂ salım katsayısı
C_j	kgCO ₂ /kWh	: Mevcut güç santrallerinin ortalama birim CO ₂ salım katsayısı
C_{IPh}	kW	: Isı pompası ısıtma kapasitesi (Katalog değeri)
C_{IPC}	kW	: Isı pompası soğutma kapasitesi (Katalog değeri)
C_p	kWh/(kg.K)	: Özgül ısı
c_{pgw}	kWh/(kg.K)	: Su - glikol karışımı özgül ısısı
c_{pw}	kWh/(kg.K)	: Suyun özgül ısısı
CH_{1c}	kW	: Su soğutma grubu 1 (Soğutma kapasitesi)
CH_{2c}	kW	: Su soğutma grubu 2 (Soğutma kapasitesi)
$(CO_2)_1$	kg CO ₂ /h	: Birincil CO ₂ salımı (BIG devrede)
$(CO_2)_{1p}$	TL/kg	: CO ₂ piyasa değeri (1. yasaya göre)
$(CO_2)_{2p}$	TL/kg	: CO ₂ piyasa değeri (2. yasaya göre)
$(CO_2)_2$	kg CO ₂ /h	: İkincil CO ₂ salımı (BIG devre dışı, elektrik şebekeden)
$(CO_2)_B$	kg CO ₂ /h	: CO ₂ salımı (Baz bina)
$(CO_2)_K$: CO ₂ azaltım katsayısı
COP_{abs}		: ABS Soğutma tesir katsayısı
COP_C		: Soğutma tesir katsayısı
COP_{CH1}		: Su soğutma grubu 1 (Soğutma tesir katsayısı)
COP_{CH2}		: Su soğutma grubu 2 (Soğutma tesir katsayısı)
COP_H		: Isıtma tesir katsayısı
d	kg/m ³	: Yoğunluk
d_{sy}	kWh	: Depo talebi (YSD)
d_{sd}	kWh	: Depo talebi (DSD)
d_{ss}	kWh	: Depo talebi (SSD)
d_w	kg/m ³	: Suyun yoğunluğu
E	kWh	: Şebekeden alınan elektrik Yüğü
E_B	kW	: Bina toplam elektrik yüğü (anlık)
E_{BIG}	kW	: Elektrik yüğü (BIG'ın ürettiğ anlık yüğü)
$(E_{BIG})_{max}$	kW	: BIG elektrik kapasitesi (Katalog değeri)
E_{PV}	kW	: Elektrik Yüğü (PV'lerden alınan)

E_x	kW veya kWh	: Yararlı iş potansiyeli /Belli bir zaman dilimindeki yararlı iş potansiyeli
f_r	%	: Isıl doluluk oranı
F		: Parametre (Amaç fonksiyonu parametresi)
F_d	kWh	: Eksik kapasite (DSD)
F_y	kWh	: Eksik kapasite (YSD)
F_s	kWh	: Eksik kapasite (SSD)
$Fark_1$	kWh	: Depolardaki toplam ısı yükü eksiği (Kış)
$Fark_2$	kWh	: Depolardaki toplam ısı yükü eksiği (Yaz)
$Fark_d$	kWh	: Eksik kapasite (Düşük Sıcaklık)
$Fark_y$	kWh	: Eksik kapasite (Yüksek Sıcaklık)
g		: Geri ödeme süresi oranı
G	Yıl	: Geri ödeme Süresi
GR	W/m^2	: Toplam güneş ışınımı (Global Radiation)
h_a	kWh/kg, kWh/m ³	: Yakıt alt ısı değeri
H_{BIG}	kWh	: BIG Isıl yük (BIG'in ürettiği anlık ısı yük)
$(H_{BIG})_{max}$	kW	: BIG Isıl kapasitesi (Katalog değeri)
H_{bt}	kW	: Buz deposu toplam kapasitesi
H_d	kWh	: Depoda mevcut termal kapasite (DSD)
H_{IPc}	kW	: Isı pompasının gerçek kapasitesi (Soğutma)
H_{IPh}	kW	: Isı pompasının gerçek kapasitesi (Isıtma)
H_s	kWh	: Depoda mevcut termal kapasite (SSD)
h_u	kWh/kg, kWh/m ³	: Yakıt üst ısı değeri
H_y	kWh	: Depoda mevcut termal kapasite (YSD)
I	W/m^2	: Işınım şiddeti
m	$m^3/h, kg/h$: Yakıt girdisi
m_{pdw}	kg/h	: Primer devre debi (DSD)
m_{psw}	kg/h	: Primer devre debi (SSD)
m_{pyw}	kg/h	: Primer devre debi (YSD)
m_{sdw}	kg/h	: Sekonder devre debi (DSD)
m_{ssw}	kg/h	: Sekonder devre debi (SSD)
m_{syw}	kg/h	: Sekonder devre debi (YSD)
η_{1E}		: BIG Elektrik verimi (1.Yasaya göre)
η_{1H}		: BIG Isıl verim (1.Yasaya göre)
η_{1k}		: Kazan verimi (1.Yasaya göre)
η_{1T}		: BIG Toplam verim (1.Yasaya göre)
η_I		: Birinci yasa verimi
η_{II}		: İkinci yasa verimi
η_t		: Tüm güç santrallerinin ortalama verimi
OR_{bt}	%	: Buz deposu mevcut kapasite
P_b	kPa	: Buhar basıncı
p_{CO}	TL/kg	: Güncel CO ₂ birim fiyatı
P_d	TL/kg	: Yakıt birim fiyatı
P_{eg}	TL/kWh	: Elektrik birim fiyatı (Gece)
P_{ep}	TL/kWh	: Elektrik birim fiyatı (Puant)
P_i	kW	: Güç girdisi
P_o	kPa	: Dış ortam basıncı
P	kW	: Güç çıktısı

P_{pu}	TL/kWh	: Elektrik birim fiyatı (Gündüz)
PES_{BIG}	%	: BIG Yakıt tasarrufu
Q	kWh	: Isı yükü (Anlık)
Q_B	kW	: Bina toplam ısı yükü (anlık)
Q_D	kW	: Düşük sıcaklık ısı yükü (anlık)
Q_{dy}	kWh	: Depo termal kapasitesi (YSD)
Q_{dd}	kWh	: Depo termal kapasitesi (DSD)
Q_{ds}	kWh	: Depo termal kapasitesi (SSD)
Q_i	kW	: Isı girdisi
Q_o	kW	: Isı çıktısı
Q_s	kW	: Soğutma yükü (anlık)
Q_Y	kW	: Yüksek sıcaklık ısı yükü (anlık)
RH_o	%	: Dış ortam bağıl nemi
S_o	kW	: Buhar çıktısı
T_c	°C,K	: Çıkış sıcaklığı
T_{dmax}	°C,K	: Tasarım sıcaklığı (Maksimum düşük sıcaklık değeri)
T_{dmin}	°C,K	: Tasarım sıcaklığı (Minimum düşük sıcaklık değeri)
T_f	°C,K	: Carnot çevrimi tabanında eşdeğer kaynak sıcaklığı
T_g	°C,K	: Giriş sıcaklığı
T_m	°C,K	: Ortalama sıcaklık
T_{md}	°C,K	: Ortalama sıcaklık (DSD)
T_{ms}	°C,K	: Ortalama sıcaklık (SSD)
t_{melt}	h	: Buz deposu erime süresi (Tam dolu iken)
T_o	°C, K	: Dış ortam sıcaklığı
T_{my}	°C,K	: Ortalama sıcaklık (YSD)
T_{ref}	°C,K	: Referans sıcaklık
$T_{pçd}$	°C,K	: Akışkan çıkış sıcaklığı (DSD primer devre)
$T_{pçs}$	°C,K	: Akışkan çıkış sıcaklığı (SSD Primer devre)
$T_{pçy}$	°C,K	: Akışkan çıkış sıcaklığı (YSD Primer devre)
T_{pgd}	°C,K	: Akışkan giriş sıcaklığı (DSD Primer devre)
T_{pgs}	°C,K	: Akışkan giriş sıcaklığı (SSD Primer devre)
T_{pgy}	°C,K	: Akışkan giriş sıcaklığı (YSD Primer devre)
$T_{sçd}$	°C,K	: Akışkan çıkış sıcaklığı (DSD Sekonder devre)
$T_{sçs}$	°C,K	: Akışkan çıkış sıcaklığı (SSD Sekonder devre)
$T_{sçy}$	°C,K	: Akışkan çıkış sıcaklığı (YSD Sekonder devre)
T_{sgd}	°C,K	: Akışkan giriş sıcaklığı (DSD Sekonder devre)
T_{sgs}	°C,K	: Akışkan giriş sıcaklığı (SSD Sekonder devre)
T_{sgy}	°C,K	: Akışkan giriş sıcaklığı (YSD Sekonder devre)
T_{smax}	°C,K	: Tasarım sıcaklığı (maksimum, soğutma)
T_{smin}	°C,K	: Tasarım Sıcaklığı (minimum, soğutma)
T_{ymax}	°C,K	: Tasarım Sıcaklığı (maksimum, yüksek sıcaklık)
T_{ymin}	°C,K	: Tasarım Sıcaklığı (minimum, yüksek sıcaklık)
TL_1	TL	: Anlık ısı ve güç maliyeti (BIG devre dışı, şebekeden)
TL_{1g}	TL	: Şebeke elektrik maliyeti, Gündüz (BIG kapalı)
TL_{1p}	TL	: Şebeke elektrik maliyeti, Puant (BIG kapalı)
TL_{1u}	TL	: Şebeke elektrik maliyeti, Gece (BIG kapalı)
TL_2	TL	: Anlık ısı ve güç maliyeti (BIG + Şebeke)

TL_{2g}	TL	: BIG'in ürettiği elektrik maliyeti (Gündüz)
TL_{2p}	TL	: BIG'in ürettiği elektrik maliyeti (Puant)
TL_{2u}	TL	: BIG'in ürettiği elektrik maliyeti (Gece)
V	m^3	: Hacim
V_d	m^3	: Depo hacmi (DSD)
V_s	m^3	: Depo hacmi (SSD)
V_{WD}	m/s	: Rüzgar hızı
V_y	m^3	: Depo hacmi (YSD)
X		: Buhar kalitesi
Y		: BIG yük oranı
Ψ_R		: Kısmi akılcı ekserji verimi
$\bar{\Psi}_R$: Ortalama Akılcı Ekserji Verimi (Tüm sistemin)
ε	kW/kW	: Birim ekserji
ε_s	kW/kW	: Arz edilen ekserji
ε_d	kW/kW	: Talep edilen ekserji
ε_{dts}	kW/kW	: Yıkılan ekserji
ε_p		: BIG varsayı değeri
ΣCO_2	kgCO ₂	: Toplam karbon emisyonu (veya oranı)
ΔCO_2	kgCO ₂	: Önlenebilir karbon emisyonu (veya oranı)

Kısaltmalar

ABS	: Absorbsiyonlu Soğutma Grubu
ASHRAE	: American Soc. of Heat. Ref. and Air Cond. Eng.
AF	: Amaç Fonksiyonu
AR-GE	: Araştırma-Geliştirme
BACS	: Bina Otomasyon ve Kontrol Sistemi
BIG	: Birleşik ısı ve güç Sistemi (Kojenerasyon)
BREEAM	: Building Res. Establishment Env. Assessment Method
CH	: Su Soğutma grubu (Chiller)
COMNET	: Bina Enerji modelleme SDtandardı
DDE	: Dinamik Veri Değişimi (Dynamic Data Exchange)
DOE	: Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı
DSD	: Düşük Sıcaklık Deposu
EN	: European Standards (Avrupa Standardları)
EU	: Avrupa Birliği
HVAC	: Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
gwp	: Küresel Isınma Potansiyeli (Global Warming Potential)
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
IP	: Isı Pompası
ITK	: Isı Pompası Isıtma Tesir Katsayısı
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design
MATLAB	: Matrix Laboratory (Programlama Dili)
MRT	: Ortalama ışıma sıcaklığı (Mean Radiant Temperature)
Mtoe (MTEP)	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
ODTÜ MATPUM	: Orta Doğu Teknik Ün., Yap. Çev. Tas. Uyg. ve A. Mer.
PER	: Birincil Enerji Oranı
PES	: Yakıt Tasarruf Oranı (%)
PV	: Fotovoltaik Panel
PVT	: Melez İkiz Kollektör (Photovoltaic Thermal)

<i>PVTC</i>	: Melez Üçüz Koll. (Photovoltaic Thermal and Cooling)
<i>PHVT</i>	: Melez Kollektör (Photoheat Voltaic and Thermal)
REHVA	: Federation of European Heat., Vent. and Air Cond. Ass.
SSD	: Soğutulmuş Su Deposu
<i>STK</i>	: Soğutma Tesir Katsayısı
SQL	: Yapılandırılmış Sorgu Dili (Structured Query Language)
TBM	: Teknik Bina Yönetimi
TEG	: Termo Elektrik Üreteç (Thermoelectric Generator)
TES	: Termal Depo
Toe (TEP)	: Ton Eşdeğer Petrol
TS	: Türk Standartı
TSU	: Termal Depo (Thermal Storage Unit)
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
VRV	: Değişken Debili Soğutucu Akışkan Sistemi
WD	: Rüzgar Yönü (°)
<i>YEO (AEO)</i>	: Alternatif Enerji Oranı
YSD	: Yüksek Sıcaklık Deposu

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1. Tasarım paleti için cihaz seçenekleri ve kapasite faktörü çizelgesi	32
Çizelge 4.2. Gerçek işletim sistem/cihaz veri tabanı (saatlik tabanda)	33
Çizelge 4.3. BIG için hazırlanan örnek veri çatkısı.....	34
Çizelge 4.4. Dış etmenler alt veri bankası	35
Çizelge 4.5. Alt veri bankası örneği	36
Çizelge 4.6. Saatlik enerji ve güç verileri.....	37
Çizelge 4.7. Saatlik performanslar	38
Çizelge 4.8. Ana veri bankasının genel görünümü.....	39
Çizelge 4.9. EnergyPlus çıktısı (kış örnek 1 gün)	45
Çizelge 4.10. EnergyPlus çıktısı (yaz örnek 1 gün)	46
Çizelge 4.11. Standart energyPlus çıktısı kullanılarak oluşturulan excel tabanlı optimum işletim algoritması (V0) kış örnek gün, ana veri ekranı - 1.....	48
Çizelge 4.12. Standart energyPlus çıktısı kullanılarak oluşturulan excel tabanlı optimum işletim algoritması (V0) kış örnek gün, ana veri ekranı - 2.....	49
Çizelge 4.13. Standart energyPlus çıktısı kullanılarak oluşturulan excel tabanlı optimum işletim algoritması (V0) kış örnek gün, kapasiteler - 3	50
Çizelge 4.14. Standart energyPlus çıktısı kullanılarak oluşturulan excel tabanlı optimum işletim (V0) yaz örnek gün, ana veri ekranı – 1	51
Çizelge 4.15. Standart EnergyPlus çıktısı kullanılarak oluşturulan excel tabanlı optimum işletim algoritması (V0) yaz örnek gün, ana veri ekranı - 2.....	52
Çizelge 4.16. Standart energyPlus çıktısı kullanılarak oluşturulan excel tabanlı optimum işletim algoritması (V0) yaz örnek 1 gün, kapasiteler - 3	53
Çizelge 4.17. Referans senaryo -1, işletim öncelikleri ve karar süreci	55
Çizelge 4.18. Referans senaryo - 2, işletim öncelikleri ve karar süreci	56
Çizelge 4.19. Baz bina ve öngörülen bina koşullarında ekserji yüklerinin kıyaslanması.....	69
Çizelge 4.20. Binada kurulu cihazlar ve kapasiteleri	73
Çizelge 4.21. BIG saatlik debi değerlerini gösterir bir günlük rapor çıktısı	75
Çizelge 4.22. BIG'ın kısmi yüklerdeki elektrik ve ısı verimleri	75

Çizelge 4.23. Güneş toplaçlarına ait örnek bir güne ait rapor çıktısı	77
Çizelge 4.24. Kış örnek güne ait rapor çıktısı, 1	91
Çizelge 4.25. Kış örnek güne ait rapor çıktısı, 2	92
Çizelge 4.26. Kış örnek güne ait rapor çıktısı, 3	93
Çizelge 4.27. Kış örnek güne ait rapor çıktısı, 4	94
Çizelge 4.28. Kış örnek güne ait rapor çıktısı, 5	95
Çizelge 4.29. Kış örnek güne ait rapor çıktısı, 6	96
Çizelge 4.30. Kış örnek 1 güne ait rapor çıktısı, 7	97
Çizelge 4.31. Yaz örnek güne ait rapor çıktısı, anlık bina yük talepleri	102
Çizelge 4.32. 2012 ve 2014 yılları için Ankara aylık HDD/CDD değerleri	104
Çizelge 4.33. Ankara aylık ortalama sıcaklıklar 2012 ve 2014 yılları	105
Çizelge 4.34. Birleşik ısı ve güç sistemi (BIG)'ın teknik özellikleri	105
Çizelge 4.35. Ortak iklim tabanında 2012 ve 2014 yılları aylık doğalgaz tüketimleri.	106
Çizelge 4.36. Toprak kaynaklı ısı pompasının (IP) teknik özellikleri.....	107
Çizelge 4.37. Ortak iklim tabanında 2012 ve 2014 yılları elektrik tüketimleri.....	108
Çizelge 4.38. Algoritmanın yakıt tüketimi üzerine etkisi.....	109
Çizelge 4.39. Ekserji tabanlı optimum sistem kontrol algoritması ile işletilen yıla ait aylık, ΨR	110

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Türkiye'nin toplam enerji arzı ve ithalatı (Anonim 2010).....	2
Şekil 1.2. Birincil enerji tüketiminin sektörel bazda dağılımı*	2
Şekil 1.3. Küresel CO ₂ salımının sektörel bazda dağılımı	3
Şekil 1.4. Bina otomasyon sistemi ve enerji tüketimi arasındaki ilişki.....	3
Şekil 1.5. Ekserjinin yararlı uygulama öncesi yıkılması	7
Şekil 1.6. Ekserjinin yararlı uygulamadan sonra yıkılması	8
Şekil 1.7. Arz ve talep ekserjilerinin dengesizliği	10
Şekil 3.1. Temel ekserji bloğu	18
Şekil 3.2. Çoklu arz ve talep noktaları ekserji ilişkileri.....	19
Şekil 3.3. Tekil arz ve talep noktaları arasındaki ekserji ilişkisi modeli	20
Şekil 4.1. Algoritma çatkısının modülleri	27
Şekil 4.2. Termal modellemesi yapılan bina görseli (Altensis,2010).....	41
Şekil 4.3. Termal modelleme	
Şekil 4.4. Ankara -aylık ortalama sıcaklık değişimi (Altensis, 2010).....	42
Şekil 4.5. Ankara için tahmin edilen günlük sıcaklık değişimi (Altensis, 2010)	42
Şekil 4.6. Ankara- günlük güneş ışınım seviyesi (Altensis, 2010).....	43
Şekil 4.7. Ankara - aylık rüzgâr profili (Altensis, 2010).....	43
Şekil 4.8. Elektrik enerji deposu karar verme süreci örnek akış şeması	57
Şekil 4.9. Sıcak su deposu karar verme süreci örnek akış şeması	57
Şekil 4.10. Birleşik ısı ve güç sistemi (BIG) örnek karar süreci örnek akış şeması.....	58
Şekil 4.11. Toprak kaynaklı ısı pompası (IP) karar verme süreci örnek akış şeması....	59
Şekil 4.12. ABS, karar verme süreci örnek akış şeması	60
Şekil 4.13. Buz tankı (TSU), karar verme süreci örnek akış şeması	61
Şekil 4.14. Güneş enerjisi, karar verme süreci örnek akış şeması.....	61
Şekil 4.15. Isı kazanı, karar verme süreci örnek akış şeması	62
Şekil 4.16. Elektrikli soğutma grubu, karar verme süreci örnek akış şeması.....	62

Şekil 4.17. Rüzgar türbini, karar verme süreci örnek akış şeması.....	63
Şekil 4.18. Otomasyon algoritması akış şeması (kış - yaz işletmesi).....	66
Şekil 4.19. Alışılmış algoritma ile ekserji tabanlı karar algoritmasının bütünleşmesi ...	68
Şekil 4.20. Bina yük profili (yaz, pik yük- temmuz saat 16.00).....	71
Şekil 4.21. Bina yük profili (kış)	71
Şekil 4.22. Yaz-kış işletim şemaları	72
Şekil 4.23. Donanım üzerindeki ölçüm noktaları	74
Şekil 4.24. BIG'ın anlık yüklerdeki ısı ve elektrik üretim verim fonsiyonları.....	76
Şekil 4.25. Düzeltme çarpanı hesaplayıcısı örnek ekran görüntüsü	76
Şekil 4.26. Binada kurulu PV'lerin saatlik performansı (19.Nisan.2014).....	78
Şekil 4.27. Modelin mevcut binalara uygulanması ve arayüz depoları.....	79
Şekil 4.28. Ekserji akış şeması	90
Şekil 4.29. Örnek ekran görseli, kış 4.3.2016, saat 9:16	98
Şekil 4.30. Örnek arayüz görseli, saat 9:16	99
Şekil 4.31. Örnek ekran görseli, kış işletmesi 4.3.2016, saat 9:45	99
Şekil 4.32. Örnek arayüz görseli, 4.3.2016, saat 9:45	100
Şekil 4.33. Örnek ekran görseli, kış işletmesi 4.3.2016, saat 12:03	100
Şekil 4.34. Örnek arayüz görseli, saat 12:03	101
Şekil 4.35. Yaz işletmesi örnek arayüz görseli.....	101
Şekil 4.36. Yaz işletmesi örnek arayüz görseli.....	103
Şekil 4.37. Yaz işletmesi örnek arayüz görseli.....	103
Şekil 4.38. Akılcı ekserji yönetim veriminin aylara göre değişimi	111
Şekil 4.39. CO ₂ salımının aylara göre değişimi.....	111

1. GİRİŞ

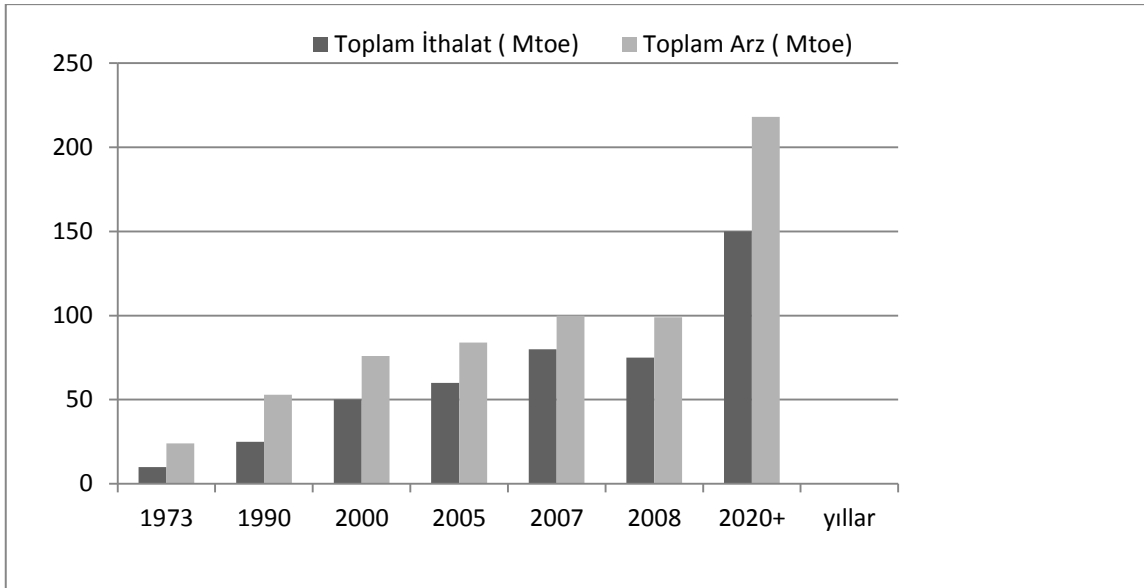
Navigant Research (2019) tarafından yapılan araştırmaya göre 2017 yılında 162.8 milyar m² olan küresel bina stoğunun on yıl sonra 2026 yılında 183.5 milyar m²'ye ulaşacağı beklenmektedir. Uluslararası Enerji Ajansının 2017 yılında yayınladığı Küresel Durum Raporunda (Global Status Report,2017) ise binalarda m² başına yıllık enerji tüketiminin küresel ölçekte 2000'li yılların başında 190 kWh/m² olduğu ancak bu miktarın 2030 yılında 100 kWh/m²'ye düşeceği öngörülmektedir. Yine aynı raporda 2019-2020 yıllarındaki bina enerji tüketiminin yıllık ortalamasının 130 kWh/m² olduğu ifade edilmektedir.

Binaların (yaşı, kullanım amacı, yapı kalitesi vb) durumuna göre değişmekle birlikte ortalama yıllık bina m²'si başına CO₂ salımının 110 kg CO₂ (Delay,Farmer,Jennings, 2009) olduğu düşünüldüğünde sırf bina stokları nedeniyle doğadan çalacağımız fosil kökenli yakıt miktarını, karşılığında doğaya bırakacağımız CO₂ salımlarını ve bu yakıtın barındırdığı enerjiyi akılcı kullanmayıp büyük bir kısmını evrene hibe ederek dengeleri nasıl alt üst edeceğimizi görmezden gelemeyiz. Bina stoğunun on yıl sonra ulaşacağı miktar ve bunun beraberinde getireceği çevresel etki ne yazık ki doğanın tolere edebileceğinden çok daha fazladır.

Tablo ülkemiz açısından da oldukça kötüdür. Enerji arzımızın yaklaşık %75'inin ithalat yoluyla karşılandığı göz önüne alındığında, çevresel etkisinin yanında ekonomik boyutunun ülkeye verdiği zararı tahmin etmek zor değildir. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi, 2008 yılında 99 Mtoe olan ve %75'i ithalat yoluyla karşılanan enerji arzımızın hızlı bir artışla 2020'li yıllarda 218 Mtoe miktarına yükselmesi ve enerji arzımızın deyim yerindeyse sabit bir oranla ithalat yoluyla karşılanması öngörülmektedir (Anonim, 2010).

TUİK, Sera gazı emisyon istatistikleri, 1990-2016 Raporuna (TUİK,2018) göre 1990 yılında 124.8 milyon ton olan ulusal CO₂ salımı (yakıt yanmasından kaynaklı), 2016 yılında 346.9 milyon tona yükselmiştir.

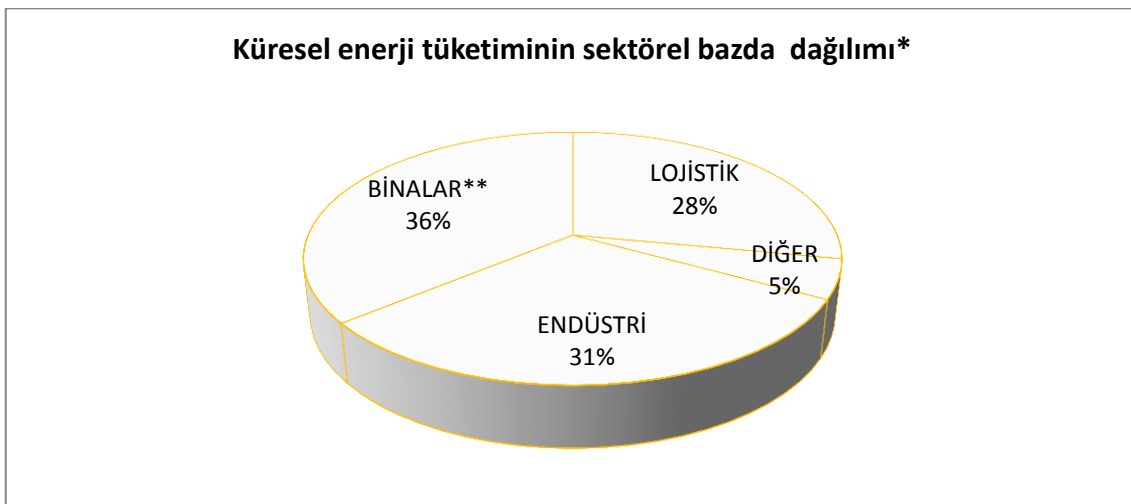
Hem küresel ölçekte hem de ülkemiz bazında verilen bu oranlar enerji kaynaklarının akılcı kullanımının ne denli önemli olduğunu, enerji kullanımında pasif metodlar yerine, proaktif yaklaşımlarla akılcı ve sürdürülebilir çözümler üretilmesi gerektiğini işaret etmektedir.



Şekil 1.1. Türkiye'nin toplam enerji arzı ve ithalatı (Anonim 2010)

Dünya Enerji İstatistikleri 2015 yılı verilerine (Global Status Report,2017) göre binalar birincil enerjinin yaklaşık %36'sını tüketmektedir (Şekil 1.2). Buna bağlı olarak küresel CO₂ salımının da % 39'undan sorumludur (Şekil 1.3).

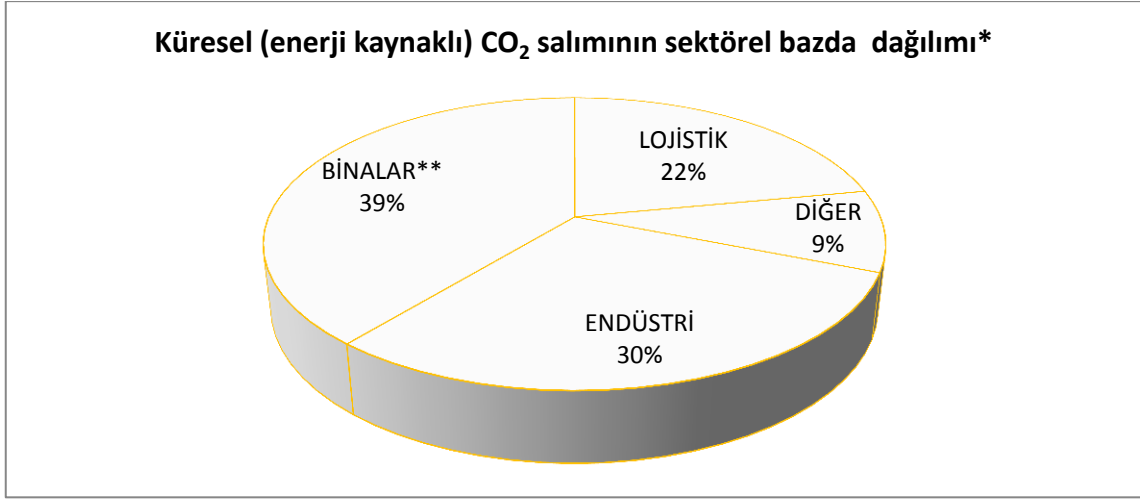
Konut olarak kullanılan binaların bu orandaki payı yaklaşık %40'dır. Bunun % 60'lık dilimini de bina otomasyon sistemleri ile yönetilen ve HVAC (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme) uygulamalarına sahip ofis, hastane, okul vb. yapılar oluşturmaktadır.



Şekil 1.2. Birincil enerji tüketiminin sektörel bazda dağılımı*

* Veriler 2015 yılına ait olup, IEA 2017 ,World Energy Statistics and Balances Raporundan alınmıştır.

**İnşaat sektörü bina sektörüne dahil edilmiştir.



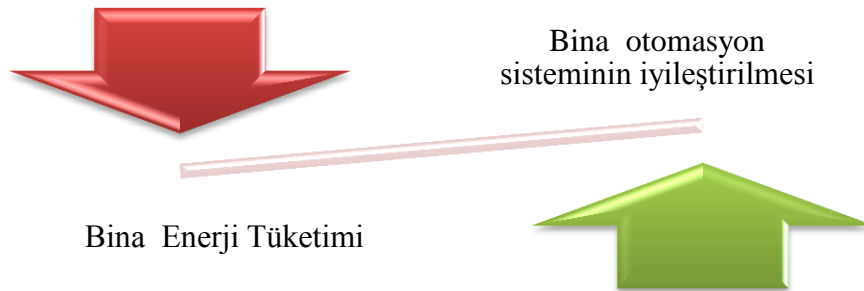
Şekil 1.3. Küresel CO₂ salımının sektörel bazda dağılımı

* Veriler 2015 yılına ait olup, IEA 2017 ,World Energy Statistics and Balances Raporundan alınmıştır.

**İnşaat sektörü bina sektörüne dahil edilmiştir.

EN 15232'ye dayandırılan genel öngörü, iyi bir Bina Otomasyon ve Kontrol Sisteminin (BACS) yakıt tüketimini azaltmada %20 oranında etkili olabileceği yönündedir.

Ne yazık ki, bu istatistiklere rağmen, bir taraftan da uygun kurgulanmayan bina işletim senaryoları nedeniyle ekonomiye, çevreye, insan sağlığına ve insan konforuna olumsuz katkılar yapılmaya devam edilmektedir.



Şekil 1.4. Bina otomasyon sistemi ve enerji tüketimi arasındaki ilişki

Tüm evren bir denge üzerine kuruludur. Evrendeki enerji de bu dengeyi sağlamak için sürekli kılıktan kılığa girip bu kurala uyar. Eğer evrenin talebimize uygun formda bize sunmuş olduğu enerjiyi, bilinçsizce harcamak yerine, enerjinin yararlı iş

üretme potansiyelini sonuna kadar değerlendirip akılcı biçimde kullanmayı seçersek, daha az ama daha nitelikli enerji ile uygun senaryolar üretmek mümkün olur.

Enerji sistemlerinin tasarımı, çözümlenmeleri ve değerlendirmelerinde genellikle termodinamiğin birinci yasası dikkate alınmaktadır. Birinci Yasa enerjinin sadece niceliği (miktarı) ile ilgilenir, niteliği (kalitesi) ile ilgilenmez. Bu nedenle özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı sistem çözümlenmelerinde birinci yasa yetersiz kalır. Yenilenebilir enerji sistemleri ile desteklenmiş melez HVAC sistemlerine sahip yüksek performanslı yeşil binalardaki işletme sorununun ana nedeni de budur. Dolayısıyla, bu binalarda, ekserji yıkımını ve bu yıkımının neden olduğu çevresel etkiyi minimuma indirecek, optimum elektromekanik sistem kontrolünün, birinci yasaya dayanarak hazırlanan piyasadaki mevcut otomasyon algoritmaları ile sağlanması oldukça güçtür.

Alışılmış (geleneksel) otomasyon algoritmaları bina yük taleplerine sadece miktar bazında cevap verir. Oysa bina yüklerinin (sıcak su, soğuk su, elektrik vs) birim ekserjileri ve yük oranları farklıdır ve enerjinin kalitesini (yararlı iş yapma potansiyelini) temel alan Termodinamiğin 2. Yasasına göre olası karışımın ekserjisi sürekli değişmektedir. Ayrıca, şebeke elektriği ve fosil kökenli yakıtlarla karşılaştırıldığında yenilenebilir enerji kaynakları farklı birim ekserjiye sahiptir. Sürekli değişken ekserji yük taleplerine optimum düzeyde cevap verilebilmesi ve bunların olası karışımının İkinci Yasa açısından çözülmesi gerekir.

REHVA (Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations), ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) gibi uluslararası standartlarda da değişken yük taleplerine karşılık verecek bina yönetim sistemi ile ilgili açık bir çözüm önerilmemiştir.

Kısıtlı ve az sayıda olmasına rağmen yapılan çalışmalar göstermektedir ki; bina sektörünün çok düşük olan akılcı ekserji verimi, yeni teknolojilere gerek göstermeksizin sadece mevcut alışılmış ve yenilenebilir enerji sistemlerinin optimum harmanlanması, optimum tasarımı ve işletimi ile büyük ölçüde artırılabilir. Elde edilen sonuçlar enerji, çevre ve ekonomi bilançolarında iyileşme, CO₂ salımlarında ise azalmaya neden olduğunu göstermektedir. Kısacası ister fosil kökenli olsun ister yenilenebilir türde olsun, enerji kaynaklarının doğru yerde, doğru zamanda, doğru kalitede ve miktarda kullanımının planlanması büyük önem taşımaktadır. Çok pahalı ve uzun süren teknolojik AR-GE (Araştırma-Geliştirme) çalışmaları yerine, bilişim tabanlı ve gerçek deneylerle destekli yeni metrikler kullanılarak oluşturulacak benchmarklar

(kıyaslamalar) çerçevesinde enerji arz ve talep noktalarının yeniden harmanlaması ile ilgili yazılım ve uygulamalara ihtiyaç bulunmaktadır. Dünyada ve Türkiye'de bu kapsamda bir uygulama bulunmamaktadır.

Bu çalışmada; Yüksek Performans Binalarında, yenilenebilir enerji sistemleri ile desteklenmiş melez elektromekanik sistemlerin optimum tasarım ve işletimi için, termodinamiğin ikinci yasası temelinde, enerjinin nitelik ve niceliğinin bir arada akılcı kullanımı hedeflendiğinden, öncelikle ‘Yüksek Performans Binası’, ‘Ekserji’ ve ‘Enerjinin Akılcı Kullanımı’ kavramlarının ne olduğunun açıklanması gerekir.

1.1. Yüksek Performans Binası Nedir?

ASHRAE TC 1.6 Terminoloji Teknik Komitesi, yüksek performans binasını ‘Sürdürülebilir bir bina olup, DOE (Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı) 430.2A genelgesine uygundur’ şeklinde tanımlar. Bu ifade sınırları belli olmayan, belirsizlikler içeren ve farklı yorumlara açık bir ifadedir.

Oysa, (Kılış,B.,2009)’a göre “Yüksek performanslı binaların, tamamen objektif ve dar aralıklı, mümkünse sürekli ilişim denklemlerine bağlı sayısal ölçütlerin oluşturduğu metriklerle değerlendirilmesi ve sınıflandırılması gerekir. Özellikle karbon salımlarında binaların anlık ve mevsimler bazındaki karbon salımlarına karşılık gelen puanlar arasında bir ilişim gerekir ki; hassas bir değerlendirme gerçekleştirilebilir. Ayrıca gerçek bir yüksek performans binasında enerjinin niceliğinin yanında niteliğinin de metrikler içerisinde etkin bir şekilde yer alması gerekir ”

ASHRAE TC 1.6’ya göre henüz metrikler oluşturulmamış olmakla beraber, Yüksek Performanslı Bina İlkeleri ve şimdiye kadar yapılan çalışmalarda dört ana yüksek performans parametresi tanımlanmıştır.

1. Enerji performansı (Enerji Faktörü) : Sürdürülebilir enerji ve ekserji verimi,
2. Konfor Performansı (İnsan Faktörü) : Isıl, iç mekan kalitesi ve aydınlatma,
3. Çevre Performansı (Çevre Faktörü) : Tüm atık ve salımların en aza indirgenmesi,
4. Parasal Performans (Ekonomi Faktörü): En fazla yarar/ maliyet oranı.

Bu metriklerin detaylandırılması ve geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar devam etmekte olup elde edilen sonuçlar, yüksek performans binasının dört temel parametresinin ekserji bazında oluşturulan bir eş taban platformunda irdelenebileceği yönündedir (Kılış,B., 2009). Hui,M. tarafından (2016) yılında akıllı şehirlerde yüksek

performans binaları nasıl olmalı sorusuna cevap arayan çalışmada da açık bir tanım yapılamamıştır.

1.2. Ekserji Nedir?

Ekserji, belli bir enerji kaynağının veya enerji akısının yararlı işe dönüştürülebilecek kısmını ifade eder. Termodinamiğin ikinci yasasına göre, belirli bir miktar enerjinin veya enerji akısının herhangi bir ısıl süreç içerisinde çevre ile dengeye gelinceye kadar faydalı işe dönüştürülebilen bölümüdür. Birim Ekserji (ϵ) ile ifade edilir. Birim Q değerine karşılık gelen ϵ 'nin birimi SI sistemine göre kW/kW, kWh/kWh dir. Bu birimler birbirini götürmekle birlikte anlamsal olarak bırakılmıştır.

Isının miktarını (niceliğini) Q ile ifade edersek, T_f (enerji kaynak sıcaklığı) ve T_{ref} (çevre denge sıcaklığı) sıcaklıkları arasındaki ideal Carnot çevrimi tabanında, Q 'nun faydalı işe dönüşebilme olasılığı, E_x , aşağıdaki şekilde tanımlanır;

$$E_x = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f}\right) Q \quad (1.1)$$

$$E_x = \epsilon \times Q \quad (1.2)$$

Fiziksel, kimyasal, kinetik ve potansiyel ekserji olmak üzere ekserjinin dört bileşeni bulunur. Bu tanımlamada nükleer, manyetik, elektrik ve yüzey gerilimi etkisi olmadığı varsayılmıştır (Kotas,1995).

İdeale yaklaşımın bir ölçütü olması ve ısıl süreçteki verimsizliklerin yeri ve nedenleri ile belirlenebilmesi ekserji analizini enerji analizine göre daha avantajlı kılmaktadır.

Enerjiden farklı olarak ekserji, geri dönüşümsüzlüklerden dolayı gerçek süreçlerde tüketilmekte ve ideal süreçlerde korunmaktadır.

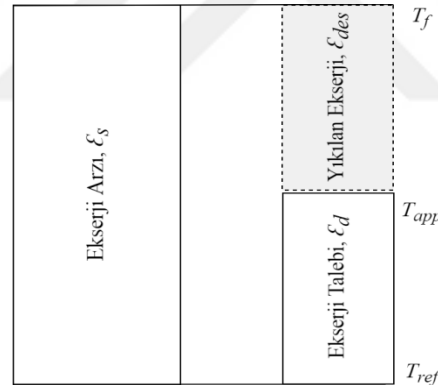
1.3. Enerjinin Akılcı Kullanımı, Akılcı Ekserji Yönetim Modeli (REMM)

Termodinamiğin birinci yasasına göre hesaplanan enerji verimi ve ikinci yasasına göre hesaplanan ekserji verimi, her ne kadar çevre, ekonomi, insan, tükenbilir enerji kaynakları dörtlemine ortak sürdürülebilirliği konusunda fikir verse de arz ve talep ekserjileri arasındaki dengeyi bir bütün olarak değerlendirebilecek metrikler bu güne kadar geliştirilmemiştir (Kılış B.,2009).

Akılcı Ekserji Yönetim Modeli (REMM), bu eksikliği gidermek üzere enerjinin akılcı kullanımı için, ikinci yasa çerçevesinde geliştirilmiş olan bir modeldir. Bu model kullanılarak tüm sistemler ortak ve eşdeğer bir ısı platforma, ideal Carnot çevrimi temeline indirgenmekte ve ekserji arzlarının ekserji taleplerine ne kadar uyumlu ve dengeli oldukları eşdeğer sıcaklık çizgesinde izlenebilmektedir.

Akılcı Ekserji Yönetim Modeline göre, ekserjinin akılcı kullanımı; bir (i) sisteminde arz (ϵ_s) ve talep (ϵ_d) ekserjileri arasındaki denge ile orantılıdır. Akılcı kullanılmadığı için arz edilen ekserjinin bir bölümü yararlı uygulama(lar) öncesinde ya da sonrasında yıkılır. Bu dengesizliğin ölçütü ise *Akılcı Ekserji Yönetimi Verimi* (Ψ_R) ile tanımlanır.

Genellikle bina uygulamalarında ekserji yıkımı, uygulama(lar)dan önce gerçekleşir. Güneş topaçlarından sıcak su elde edilmesi, ekserjinin yararlı uygulamadan önce yıkılmasına örnek olarak verilebilir. Uygulama öncesinde faydalı iş yapma potansiyeli daha yüksek olan elektrik gücü üretme imkanı gözardı edilerek, güneşten arz edilen ekserjinin büyük bölümü ne yazık ki kullanılmadan yıkılır.



Şekil 1.5. Ekserjinin yararlı uygulama öncesi yıkılması

Bu koşul için, T_{app} (ekserji talep noktasındaki sıcaklık), T_f (kaynak sıcaklığı ya da eşdeğer sıcaklık), T_{ref} ise referans çevre sıcaklığı (10°C alınmıştır) olmak üzere, Akılcı Ekserji Yönetimi Verimi, Ψ_{Ri} (Kılış Ş., 2011);

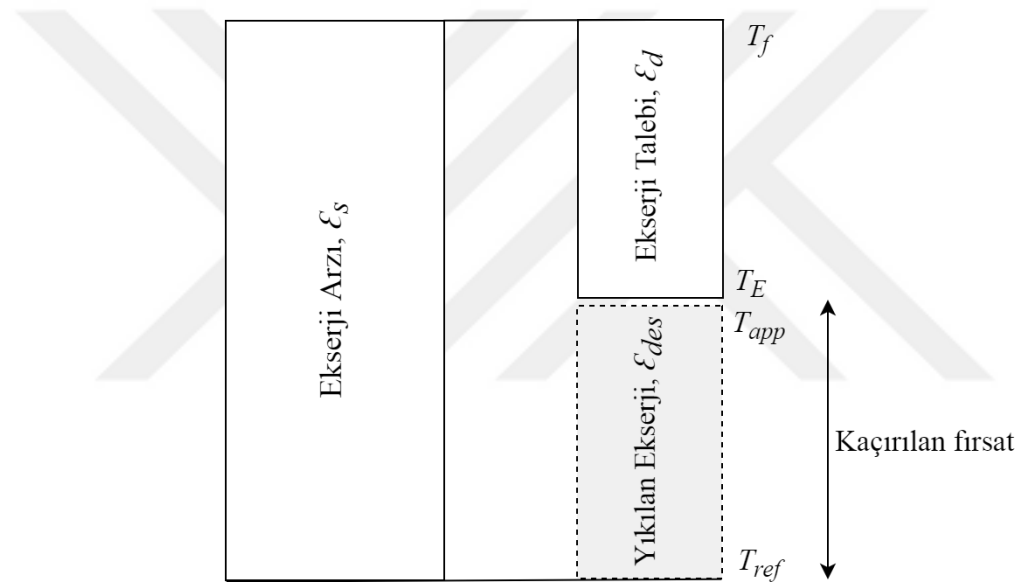
$$\Psi_{Ri} = \frac{\epsilon_d}{\epsilon_s} \quad (1.3)$$

$$\Psi_{Ri} \leq 1$$

Ψ_{Ri} ; (i) sisteminin akılcı ekserji yönetim verimi. Birimsiz olup maksimum değeri 1'dir.

Güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtlar gibi yanma sıcaklığı bulunmadığından, yenilenebilir enerji kaynaklarının kaynak sıcaklığı (T_f) yerine, ideal Carnot çevrimi tabanında hesaplanan sanal sıcaklıkları bir diğer ifade ile eşdeğer sıcaklıkları kullanılır. Güneş ve rüzgâr için eşdeğer sıcaklık hesaplamaları bölüm 3'de (denklem 3.2 ve 3.3) verilmiştir.

Eğer ekserji yıkımı uygulama(lar)dan sonra gerçekleşirse, bu koşulda bir (i) sistemi için *Akılcı Ekserji Yönetim Verimi* Ψ_{Ri} , hesaplanırken akılcı olmayan kısım çıkarılarak denklem 1.4'deki gibi hesaplanır (Kılıkış, Ş., 2011).



Şekil 1.6. Ekserjinin yararlı uygulamadan sonra yıkılması

$$\Psi_{Ri} = 1 - \left(\frac{\varepsilon_{des}}{\varepsilon_s} \right) \quad (1.4)$$

PV paneller kullanılarak güneş enerjisinden elektrik gücü üretimi, ekserjinin uygulama(lar)dan sonra yıkılmasına örnektir. Uygulama sonrası ısınan gözelerden sıcak su elde edilme imkanı varken bu fırsatın kullanılmaması, arz edilen ekserjinin bir bölümünün heba edilmesi anlamına gelir. Bu durum Şekil 1.6'da kaçırılan fırsat olarak tanımlanmıştır.

Uygulamalara göre değişmekle birlikte, ekserjinin uygulama öncesi yıkıldığı koşulda, İdeal Carnot çevrimi tabanında Arz (ε_s) ve Talep Ekserjileri (ε_d) ile Ekserji

Yıkımının (ε_{des}) hesaplanmasında (ısıtma için) sırasıyla aşağıdaki eşitlikler (1.5, 1.6, 1.7) kullanılır.

$$\varepsilon_s = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f}\right) \quad (1.5)$$

$$\varepsilon_d = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{app}}\right) \quad (1.6)$$

Eğer sistemde T_{ref} değerinden düşük sıcaklıklarda bir süreç var ise, T_o dış ortam tasarım sıcaklığı olmak üzere denklem 1.5 ve 1.6 şöyle ifade edilir;

$$\varepsilon_s = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_o}\right) - \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f}\right) \quad (1.5 a)$$

$$\varepsilon_d = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_o}\right) - \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_{app}}\right) \quad (1.6 a)$$

$$\varepsilon_{des} = \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_E}\right) \quad (1.7)$$

Denklem 1.7'de T_E , atık enerjinin çıkış sıcaklığıdır. Örnek hesaplar bölüm 4.8.5'de yapılmıştır.

Isıl süreçlerde ekserji verimliliğinin önemini vurgulamak için aşağıdaki termal depolama örneğine bakabiliriz. (Exergy,2019)

İçerisinde 40°C sıcaklıkta 1,000 kg su olan mükemmel yalıtılmış bir termal depo varsayalım. Dış ortam sıcaklığı 20 °C ve suyun özgül ısısı 4.2 kJ / kg K sabit olsun. Dışarıdan 4,200 kJ ısı (100 °C sıcaklıktaki 100 kg. su 90°C'a düşerek) bir ısı eşanjörü vasıtasıyla depoya aktarılsın. Bu işlem, depolama sıcaklığını 1 °C artırarak 41 °C değerine yükseltir. Daha sonra su sıcaklığını 20 °C'dan 30 °C'a yükseltmek için kullanılan başka bir eşanjöre 4,200 kJ ısı (100 kg. su) depodan çekilmiş yani geri kazanılmış olsun. Böylece termal depo 40 °C'da başlangıç durumuna geri dönsün.

Bu depolama döngüsü için, enerji verimliliği (depoya verilen ısının geri kazanılan ısıya oranı) $\eta = 4,200/4,200 \text{ kJ} = 1$ veya % 100'dür.

Ancak enerji verimi % 100 olmasına rağmen, talep edilen ekserji 70 kJ arz edilen ekserji ise 856 kJ'dur. Dolayısıyla depodan geri kazanılan termal ekserjinin arz

edilen ekserjiye oranı olan ekserji verimliliği, $\Psi_R = 70/856 = 0.082$ veya % 8.2 ile sınırlı kalmaktadır.

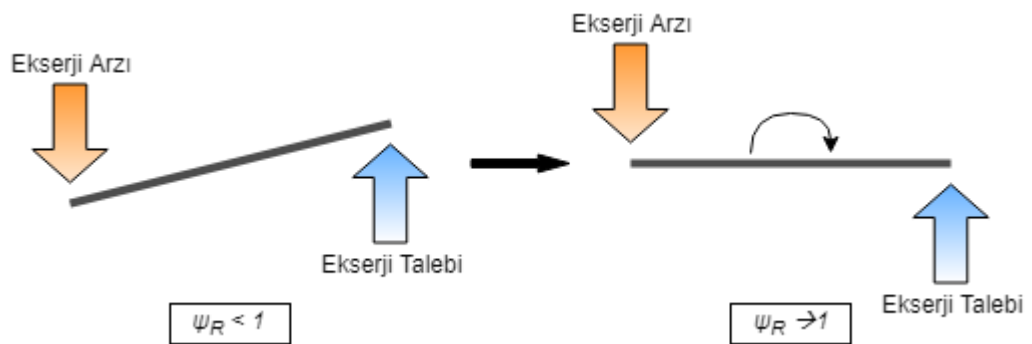
Yararlı iş potansiyeli akılcı olarak uygun zamanda ve uygun işlerde kullanılmazsa yıkılır. Yıkılan ekserji geri dönüşümsüzdür (irreversible). Enerji gibi geri kazanım olasılığı yoktur. Ne yazık ki, iş üretme yeteneği olmayan bu enerjiyi evrene hibe ederek entropi artışına katkı sağlamış oluruz. Ekserji yıkımı aynı zamanda gizli CO_2 salımlarına neden olur ve küresel ısınma potansiyelini, gwp'yi (Gillenwater, 2010) artırır.

Akılcı ekserji yönetim verimi (Ψ_R) tüketilen bir enerji kaynağının kalitesinin (sıcaklık ve entalpi) ne denli iyi kullanılabilildiğinin bir göstergesidir. Bir diğer ifade ile bir binanın, tesisin veya sistemin ürettiği faydalı işler için gerekli olan ekserjiler toplamının, aynı amaçla kullanılan sistem, kütle akışı veya enerji kaynaklarının potansiyel ekserjileri toplamına oranıdır.

Burada sözü edilen potansiyel ekserji; herhangi bir akan veya depolanmış kütledeki, sistemdeki veya enerji kaynağındaki basınç, sıcaklık, entalpi ve ısıl değer gibi şartlardan itibaren çevredeki şartlara ulaşmaya kadar gerçekleştirilebilecek en fazla toplam faydalı iş üretme potansiyelini ifade eder (Kılış, B.,2009).

Gerekli ekserji ise bir binanın, sistemin veya tesisin ürettiği faydalı işler için çevre şartlarına mümkün olan en yakın şartlarda çalışırken gerek duyduğu ekserjidir.

Yüksek performans binalarının sürdürülebilir olmaları akılcı ekserji yönetim verimlerinin büyük ölçüde artmasına bağlıdır. İdeal koşul talep ve arz ekserjilerinin eşit olmasıdır ($\Psi_R=1$).



Şekil 1.7. Arz ve talep ekserjilerinin dengesizliği

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Binaların mekanik tasarımı ve işletim algoritmaları üzerine bugüne kadar yapılan çalışmalarda sadece enerjinin niceliği (miktarı) dikkate alınmış, enerjinin niteliği (ekserji) ise göz ardı edilmiştir.

Sadece ülkemizde değil tüm dünyada bu alandaki çalışmalar çok yeni ve kısıtlıdır (IEA Annex-38, IEA Annex-49, ASHRAE Yüksek Performanslı Bina Komitesi, ASHRAE TC 7-4 Ekserji Komitesi). Dolayısıyla, literatürde niteliksel bağlamda hiçbir (bina) kontrol algoritması ve yöntemi mevcut değildir.

Halen yüksek performanl binalarda kullanılmakta olan algoritmalar REHVA, ASHRAE gibi uluslararası standartlara dayanarak hazırlanmış, alışılmış kontrol stratejisine sahip algoritmalarıdır. Bu nedenle öncelikle yenilenebilir enerji sistemlerinin melez kombinasyonlarını içeren yüksek performanslı yeşil binalarda kullanılan ve mevcut standartlara (REHVA, ASHRAE) göre hazırlanmış bina işletim algoritmaları ve ilgili standartlar incelenmiştir.

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ve BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) gibi bina sertifikalandırma süreçleri için geçerli olması nedeniyle ASHRAE Standartları tasarımda ve işletimde özellikle önem taşımaktadır. ASHRAE 90.1 Enerji Performans Standartı (Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings) (ASHRAE,2009), ASHRAE 189.1 Yeşil Bina Standartı (Standard for the Design of High-Performance Green Buildings Except Low-Rise Residential Buildings) (ASHRAE, 2011), ASHRAE 62.1-2007 İç Hava Kalitesi Standartı (Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality) (ASHRAE,2007) ve ASHRAE 55 Termal Konfor Standartı (Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy) (ASHRAE,2004) konu ile doğrudan bağlantılı olan standartlar olarak tespit edilmiştir.

ASHRAE 90.1, binaların ve sistemlerin enerji tasarruflu tasarımı veya uyumu için minimum gereksinimleri sağlayan bir rehber niteliğinde olup, simülasyon sonuçlarının karşılaştırılmasına dayanan ‘Performans Değerlendirme Yöntemi’ni kullanır. ‘Tasarım Temelli Modelleme’ kurallarının oluşturulabilmesi için, standartın G eki, COMNET (Standardizing energy modeling for buildings) ve DOE’nin standart bina modelleri gibi bir çok kaynağın dikkate alınması gerekmektedir. Ancak standartta bina işletim sistemi ile ilgili doğrudan bir tanımlama verilmemiştir.

ASHRAE 189.1, ‘Yüksek Performanslı Yeşil Binaların Tasarım Standart’ı ise, yüksek performanslı yeşil binaların tasarlanması, inşası, işletilmesi ve belirtilen kriterlerin sürdürülebilirliğinin sağlanmasında ‘Yüksek Performanslı Bina Operasyon Planı’ hazırlanması için kılavuzluk eder. Burada da enerji verimliliğinin performans seçenekleri için bir metot ya da algoritma tanımlanmamıştır.

ASHRAE’nin 32 numaralı yönergesi (ASHRAE GUIDELINE Sustainable, High Performance Operations and Maintenance) (ASHRAE,2012) sürdürülebilirlik ve yüksek performans kriteri göz önünde bulundurularak binaların işletilmesi ve bakımı için rehberlik sunmaktadır. Bu yönerge, yüksek performans kriterlerinin sağlanabilmesi için binaların işletim ve bakımında enerji verimliliği, çalışan konforu, iç mekan hava kalitesi, sağlık ve güvenlik temelinde klavuz niteliğindedir.

Diğer bir standart ise REHVA CEN / TC 247 komitesi tarafından hazırlanmış olan EPBD-EN 15232’dir (REHVA,2016). Bu Avrupa standardı, bina otomasyonu, BACS ve TBM (Teknik bina yönetimi)’nin binalarda enerji performansı ve enerji kullanımı üzerindeki etkisinin tahminine ilişkin sözleşmeler ve yöntemler oluşturmak için tasarlanmıştır.

Bu standartlar gözden geçirildiğinde, hiçbirinin termodinamiğin ikinci yasasını göz önünde bulundurmadığı, melez elektromekanik sistemler için bir algoritma ve çözüm önerilmediği görülmüştür.

REHVA’nın 22 numaralı yönergesinde ‘Guidebook no: 22 Introduction to Building Automation, Controls and Technical Building Management’ (REHVA,2017) çoğu sertifikalı en iyi örnek uygulamalar (case study) anlatılmaktadır. Bu örneklerin tamamında enerji verimliliği üzerine kurulu ve Bacnet, M-Bus gibi haberleşme protokolleri ile çalışan alışılmış bina yönetim sistemlerinin kurulmuş olduğu görülmektedir. Her türlü otomasyon imkanlarına sahip görünen bu uygulamaların pek azında melez sistemlerin olması dikkat çekici bir konudur. Buradan da melez elektromekanik sistemlerin aslında alışılmış bina otomasyon sistemleri ile verimli bir şekilde yönetilmesinin kolay olmadığı sonucuna ulaşılabılır.

2006 yılında (Torcellini, P., ve ark), Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı, Ulusal Enerji Verimliliği ve Yenilenebilir Enerji Ofisi tarafından altı adet örnek yüksek performans binası ile ilgili çalışmanın sonuçları yayınlanmıştır. Amaç, 2025 yılı için hedeflenen net sıfır enerjili ticari binalar için bilgi ve veri oluşturmak. Yapılan çalışmada altı farklı yüksek performans binası tüm yönleri ile incelenmiş ve toplanan bilgiler değerlendirilmiştir. Sonuç raporunda, entegre bina tasarımının

öneminden, enerji tüketimini azaltıp bunun neden olduğu çevresel etkiyi minimum seviyeye indirmek için alınan inovatif uygulamalara kadar farklı önerler sıralanmıştır. Tasarım, yapım ve işletmenin bir bütün olduğu, pik yüklerin azaltılarak depolama seçeneklerinin kullanılması gerektiği gibi pek çok önemli noktaya vurgu yapılmıştır. Ancak örneklerin hiçbirinde işletim sistemi ile ilgili alışılmış uygulamalardan farklı bir çözüm belirtilmemiştir.

Bu çalışmada, ikinci yasa çerçevesinde yakın geçmişte geliştirilmiş bulunan *Akılcı Ekserji Yönetim Modeli (REMM)* kullanılmış olup, tezin amacına ve beklentilerine uygun olarak REMM uygulamaları konusunda da kaynak araştırması yapılmıştır. Bu kapsamda IEA Annex 49 ve yabancı literatür taranmıştır. Bu yayınların bir kısmının özeti aşağıda sunulmuştur.

Kılış,Ş. ve Kılış,B.(2008) tarafından, ‘Avrupa Birliği’nin, birlikte üretim sistemleri (cogeneration) ile ilgili yönergesinin REMM kullanılarak güncellenmesi’ ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Yönergede primer enerjinin tasarrufu ile ilgili eşitlik, zararlı emisyonları azaltacak şekilde modifiye edilmiş, en iyi ve en optimum sistem için yeni bir yol haritası sunulmuştur. Sürdürülebilir bir ekonomi, çevre ve insan sağlığı için ‘Birlikte Üretim Sistemi’ kullanımının potansiyel faydaları ile ilgili ana noktalar örnek çalışmalarla elde edilmiştir.

Bir yıl sonra Kılış, B. ve Kılış, Ş. (2009) tarafından ‘EU (Avrupa Birliği) Hegel projesinin sonucunun ekserji tabanında değerlendirilmesi’ ile ilgili bir çalışma yayınlanmıştır. Bu çalışmada ise yüksek performanslı çoklu birlikte üretim sistemleri ile birlikte üretim sistemlerinin toplam performanslarının çevre, teknoloji ve ekonomi üçgeninde karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen sonuca göre; çoklu birlikte üretim sistemlerinde REMM verimliliği artarken enerji verimliliği düşmekte bu da ilginç bir optimizasyon problemi oluşturmaktadır. Ayrıca, REMM kullanılarak EU 2004/8/EC yönergesindeki primer enerji kazancı denkleminin çoklu birlikte üretim (poly-generation) ve birlikte üretim (co-generation) sistemleri için karşılaştırması yapılmıştır.

2009 yılında Bi ve arkadaşları tarafından bina ısıtma ve soğutmasında kullanılan toprak kaynaklı ısı pompalarında potansiyel enerji tasarruf bileşenlerinin tespiti amacıyla kapsamlı bir çalışma yapılmış, ısı pompalarında ekserji kayıp noktaları ısıtma ve soğutma modları için belirlenerek formüle edilmiştir. Elde edilen sonuç toprak kaynaklı ısı pompalarında kapsamlı bir ekserji analizine ihtiyaç olduğunu göstermiştir.

Akılcı ekserji yönetimi ile ilgili bir diğer çalışma da yine Kılış, B. (2010) tarafından soğutma sistemleri ile ilgili yapılmış bir çalışmadır. Bu çalışmada ekserji

platformundaki tüm sürdürülebilir parametrelerin modellenmesi için genel bir algoritma geliştirilmiştir. Bireysel split soğutuculardan bölge soğutma sistemlerine kadar farklı konfor soğutma sistemleri için yine aynı platformda kısıtlar belirlenmiştir. Yazılan algoritma farklı alternatiflerin kıyaslamasını ve karbon ayak izi içeriklerini baz alarak optimizasyon yapabilmektedir. Çalışmada dört farklı soğutma senaryosu ele alınmıştır.

REMM bölgesel çözümlerin analizinde de kullanılmıştır (Kılış, B.ve Kılış, Ş., 2010). Dünyadaki pirimer enerji talebinin % 67'sinin şehirlerde tüketildiği, global enerji ile ilgili olarak CO_2 salımlarının %71'inin de yine şehirlerde üretildiği gerçeğinden yola çıkılarak, karbon emisyonlarındaki artışın ana kaynağının konfor ve kurulum kolaylığı nedeniyle fazlaca tercih edilen split klimalar olduğu hatırlatılarak, şehirleşmenin artması nedeniyle bölgesel çözümler üretilmesinin enerji tüketimini %40 azaltabildiği üzerinde durulmuştur.

Çalışmada altı farklı alternatif çözüm incelenmiştir:

- Şebeke elektriği kullanan bireysel klima ünitesi (base case)
- Şebeke elektriği kullanan soğutma grubu, pompa ve fanlar ile birlikte çalışan merkezi klima sistemi
- Şebeke elektriği kullanan toprak kaynaklı ısı pompası,
- Toprak kaynaklı ısı pompası ve kojenerasyonun birlikte kullanıldığı sistem
- Toprak kaynaklı ısı pompası, ABS (absorbsiyonlu soğutma grubu) ve kojenerasyonun bir arada kullanıldığı sistem
- Bölgesel enerji sistemleri.

Tüm sistemler REMM ile analiz edilmiş, temel duruma (base case) göre CO_2 salımları karşılaştırılmış, kurulum ve işletme giderleri oranlanmıştır.

Yüksek performans binalarında, yüksek enerji ve ekserji verimliliği ile ilgili Kılış, B.(2010a) tarafından ASHRAE'de yayınlanan bir çalışmada ise sıcaklık ve insan faktörünün bina enerji verimliliği üzerindeki etkisi ve ortaya çıkan problemin REMM ile çözümü incelenmiştir. İç mekan konforunun işletme sıcaklığına bağlı olduğu, bunun da kuru termometre sıcaklığı ve MRT'nin (Ortalama Işıma Sıcaklığı) bir fonksiyonu olduğu dolayısıyla maksimum konfor için bu iki sıcaklığın optimum kombinasyonunun sağlanması gerektiği çünkü her birinin bağımsız olarak ısı kaybını /kazancını etkilediği, bunun da binanın enerji ve ekserji talebini etkilediği vurgulanarak özellikle yüksek performanslı binalarda yüksek enerji ve ekserji verimliliği için her iki sıcaklığın da ayrı ayrı ve optimum olarak kontrol edilmesi

gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışmada kaydedilen bir diğer husus ise insandan kaybedilen ekserjinin minimize edilmesidir. Bir binanın verimliliği ve konforu arasında doğru bir dengenin kurulabilmesi için insan vucudunun ekserji kaybı vb. gibi etkin olan faktörler sıralanmış ve bu problemin çözümü için yeni bir optimizasyon algoritmasına ihtiyaç olduğu görülmüştür. Problemin özümü için REMM kullanılarak örnek hesaplamalar yapılmıştır. Sonuçta, karbon ayakizi ile insandan kaybedilen ekserji optimize edilirken, ısıtma ve soğutma sezonlarında hem en iyi konforun elde edilebileceği hem de enerji tasarrufu sağlanabileceği görülmüştür.

2011 yılında Kılış, B. tarafından yapılan bir başka çalışmada ise enerji verimli olarak bilinen radyant ısıtıcıların durumu incelenmiştir. Radyant ısıtma ve soğutma panelleri enerji verimli, düşük ekserji talebi olan ısıtma ve soğutma sistemleri olarak bilinmektedir. Oysa yapılan çalışma, düşük ekserji atığı ve alternatif enerji kaynaklarının radyant paneller ile uyumlu hale getirilmediği sürece bu durumun her zaman geçerli olmadığını göstermiştir. Eğer toprak kaynaklı ısı pompası radyant panel ile optimum şekilde işletilirse, CO_2 emisyonunda azalma potansiyelinin mevcut olduğu ancak toprak kaynaklı ısı pompasının da birleşik ısı ve güç sistemi ile melez çalışmasının gerekli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Melez tasarımı ve ikinci yasanın enerji verimliliğ ve CO_2 salımları üzerindeki etkisine dikkat çekilmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının optimum kullanımı ve REMM uygulamasının yapıldığı bir diğer çalışma da kojenerasyon (BIG) ve üçüz üretim (trigeneration) ünitelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının daha iyi ve daha fazla kullanılabilmesi için kojenerasyon ve üçüz üretim ünitelerinin enerji ve ekserji yararlarına dikkat çekmeyi amaçlayan (Kılış, B., 2011) araştırmadır. Araştırmaya göre; birlikte üretim (BIG) sisteminin yakıtların verimliliğini artırdığı kabul edilmekle birlikte, sürdürülebilirlik için birlikte üretim sistemlerinde yenilenebilir enerji kullanımı çok az dikkate alınmaktadır (Meckler ve ark, 2010). Bina cephesine entegre solar trigenerler (güneşten elektrik, sıcak su ve soğuk su üretimi), rüzgar türbini ve küçük hidro türbinler ile entegre ısı pompası, melez gün ışığı aydınlatmaları ve PV'ler ile aydınlatma armatürleri gibi özel uygulamalar her biri yeşil binalar ve şehirler için uygun ve gerekli yerlerde mantık yürütülerek birlikte üretim sistemine dönüştürülebilir. Bu örnekler, melezleşme yaklaşımı ile yenilenebilir enerji kaynaklarının optimum kullanımını artırarak ekserji arz ve talep dengesinin iyileştirilebileceğini göstermektedir. EU/2004/8/EC yönergesi çerçevesinde fosil kökenli yakıtlar için tasarlanan uygun dereceleme parametreleri özetlenmiş, daha sonra yeni ekserji tabanlı dereceleme ve

değerlendirme metrikleri ile REMM kullanılarak bu tasarım yenilenebilir kaynaklar için genişletilmiştir. Bu parametreler örnekleme amacıyla mevcut durumlara uygulanmıştır.

EU-FP6 Hegel Projesi çerçevesinde, Bingöl, Kalkış ve Eralp (2011) tarafından yapılan ‘Sürdürülebilir bina uygulamaları için yüksek verimli çoklu birlikte üretim sistemlerinin ekserji tabanlı, performans analizi’ başlıklı çalışmada da, doğalgazla çalışan içten yanmalı motorların kullanıldığı çoklu birlikte üretim sistemleri için termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları ile birlikte REMM’in yer aldığı MATLAB (Matrix Laboratory) tabanlı bir algoritma geliştirilmiş ve ODTÜ MATPUM (Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Yapılı Çevre ve Tasarım Uygulama ve Araştırma Merkezi) binasında test edilmiştir. Bu çalışmada çevre, ekonomi, enerji ve insan ihtiyaçları faktörleri arasında optimum sürdürülebilir koşulu tespit etmek, çoklu üretim sistemlerinin derecelenmesi, değerlendirilmesi ve optimize edilmesi için salımların minimize edilerek yakıt tasarrufunun maksimum düzeye çekilebildiği en iyi metrik setinin tanımlanması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuç içten yanmalı motor kullanan çoklu birlikte üretim sistemlerinde ekserji verimliliğindeki artışın % 60’dan fazla olduğu yönündedir.

Saidur ve ark. tarafından 2012 yılında güneş enerjisi kullanan sistemlerin ekserji analizleri üzerine kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada sistemlerin ekserji analizleri ile birlikte ekserji yıkımı ve nedenleri irdelenmiştir.

Björk,F., ve arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılı çevrede birincil enerji kullanımını azaltmak için enerjinin kalitesinin ve yönetiminin önemine dikkat çeken bir çalışma yayınlanmıştır. Yayınlanan makalede, enerji kullanımının azaltılması için ısıtma ve soğutma talebinin azalması, pasif bina tekniklerinin uygulanması, yerel yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve fosil kökenli kaynakların verimli kullanılması gerektiği ifade edilmiştir. Bununla birlikte arz ve talep dengesi ile ekserjinin ne denli önemli olduğuna dikkat çekilmiştir. Akılcı Ekserji Yönetim Modeli ile arz ve talep eşleştirmeleri değiştirilerek CO_2 salımlarının azaltılması, enerji ve CO_2 salımlarını azaltmada ekserjinin ne denli önemli olduğu örneklenmiştir.

Bina tasarım ve işletiminde enerjinin miktarını dikkate alan termodinamiğin birinci yasasının yanında, enerjinin kalitesini dikkate alan ikinci yasa ne yazık ki bugüne kadar gözardı edilmiş, enerjinin akılcı kullanımı için uygun senaryolar da geliştirilmemiştir. REMM, enerjinin akılcı kullanımı için ikinci yasa çerçevesinde geliştirilmiş bir model olup ilk kez bu çalışmada yüksek performans binalarının melez elektromekanik sistemlerin tasarımı ve optimum kontrolü amacıyla kullanılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, bir mekanik tesisat odasında mevcut olabilecek değişik (ısıtma, soğutma, havalandırma, enerji depolama) sistemlerin o andaki bina ve dış ortam koşullarına bağlı olmak kaydıyla, önceliklerin ve çalışma rejimlerinin dinamik anlamda ve ekserji tabanında işletim karar verme optimizasyonu hedeflenmiştir. Bu amaçla yüksek performans binasındaki olası mekanik tesisatın her birinin vektörel bilgisayar destekli tasarım veri çatkısı oluşturulmuştur. Bu çatki kullanılarak REMM'e uygun bir optimizasyon metodu geliştirilmiş, sanal bina bu metod yönünde koşulmuş, sanal anlamda işletilerek en uygun sistem tasarımı seçilmiştir. En uygun sistem tasarımının anlamı, mekanik tesisat odasındaki olası sistemlerin; türleri, tipleri, kapasiteleri, sayıları ve melezleştirilip tümleşmelerinin en uygun bir işletim için tasarlanacağı bir SANAL ORTAM'ın oluşturulmasıdır.

Sanal binaya ait parametrik çalışmalar EnergyPlus bina benzetim yazılımı ortamında oluşturulmuştur. EnergyPlus, binaların ısıtma, soğutma, havalandırma yüklerinden kaynaklı enerji tüketimlerini dinamik olarak hesaplayan, hem proje aşamasında hem de inşa edilmiş binalarda kullanılabilen bir bina enerji simülasyon programıdır. Elektromekanik tesisatın saatlik yükleri EnergyPlus'dan alınmış ve simüle edilmiştir.

Geliştirel model gerçek bir yüksek performans binasında gerçek yüklerle oniki aylık süre boyunca sınanmıştır.

Enerji verimli, yüksek performanslı binalar için bina tesisatında kullanılan cihazlar ile bu cihazların kapasite seçimleri göz önünde bulundurularak ve C#, Dynamic Data Exchange (DDE) gibi teknolojiler de kullanılarak; 'Akılcı Ekserji Yönetim Tabanlı Optimum Sistem Kontrol Algoritması'nın geliştirilmesi ile yüksek performanslı binalarda enerji kullanımında arz ve talep dengesi ekserji verimliliği tabanında çözülmüştür. Ekserji tabanlı tasarım modelinde REMM kullanılmıştır.

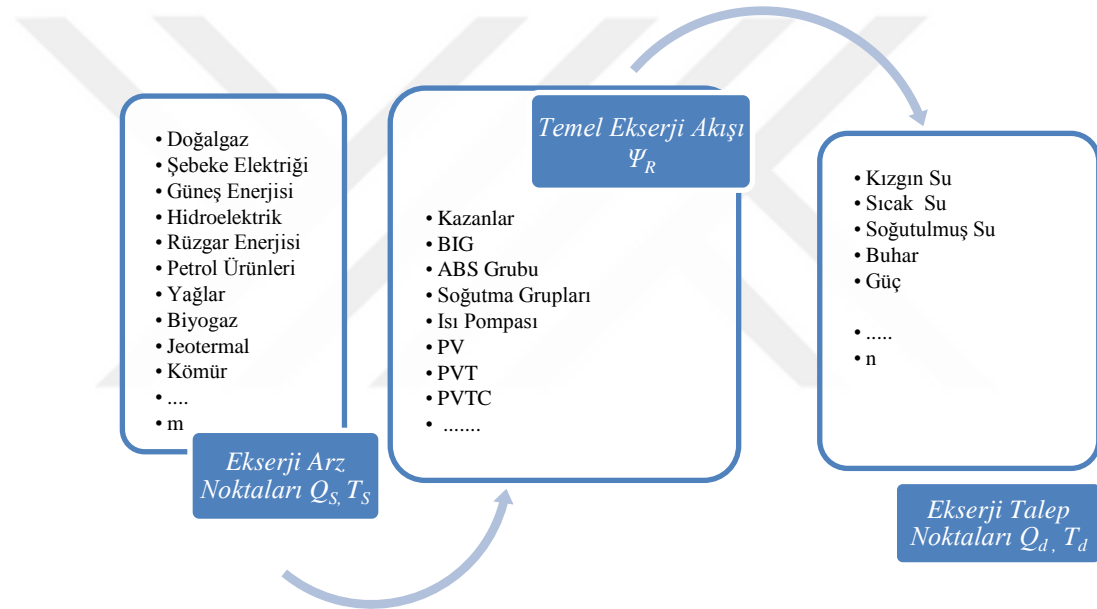
Tüm tesisatın vektörler dizini şeklindeki çatkılamaında, Kaftanoğlu ve Kılış (1975)'in geliştirmiş oldukları "Bina Tesisat Sistemlerinin Hiyerarşik Bilgi Çatkılanması" (Hierarchical CAD structure for buildings) kullanılmıştır.

Bu tezde ilk kez ekserji tabanlı sürdürülebilir enerji ve depolama sistemlerine sahip bir en iyileme algoritması hedeflenmiştir.

3.1. Ekserji Tabanlı Model

Geliştirilecek modelin ana hedefi, sürdürülebilir sistem ve cihazların bütünleştiği tüm diğer sistem ve cihazlarla birlikte üretecekleri ekserjinin, bina talep tarafındaki değişik ekserji düzeyindeki taleplere en yüksek akılcı ekserji verimini sağlayacak şekilde ve saatlik temelde nasıl önceliklendirilerek işletildiğinin sınanmasıdır.

Bu amaçla bölüm 1.3’de açıklanmış olan, *Akılcı Ekserji Yönetim Modeli*, REMM kullanılmıştır. Ana strateji, tüm performans parametrelerinin ve ekserji temelli ölçümlerin, ortak bir ekserji platformuna getirilmesidir. Bu nedenle modeldeki tüm bileşenler ısı tabanında çözümlenmektedir. Sözelimi, rüzgâr enerjisinde (Mekanik) eşdeğer sıcaklık kullanılmıştır.

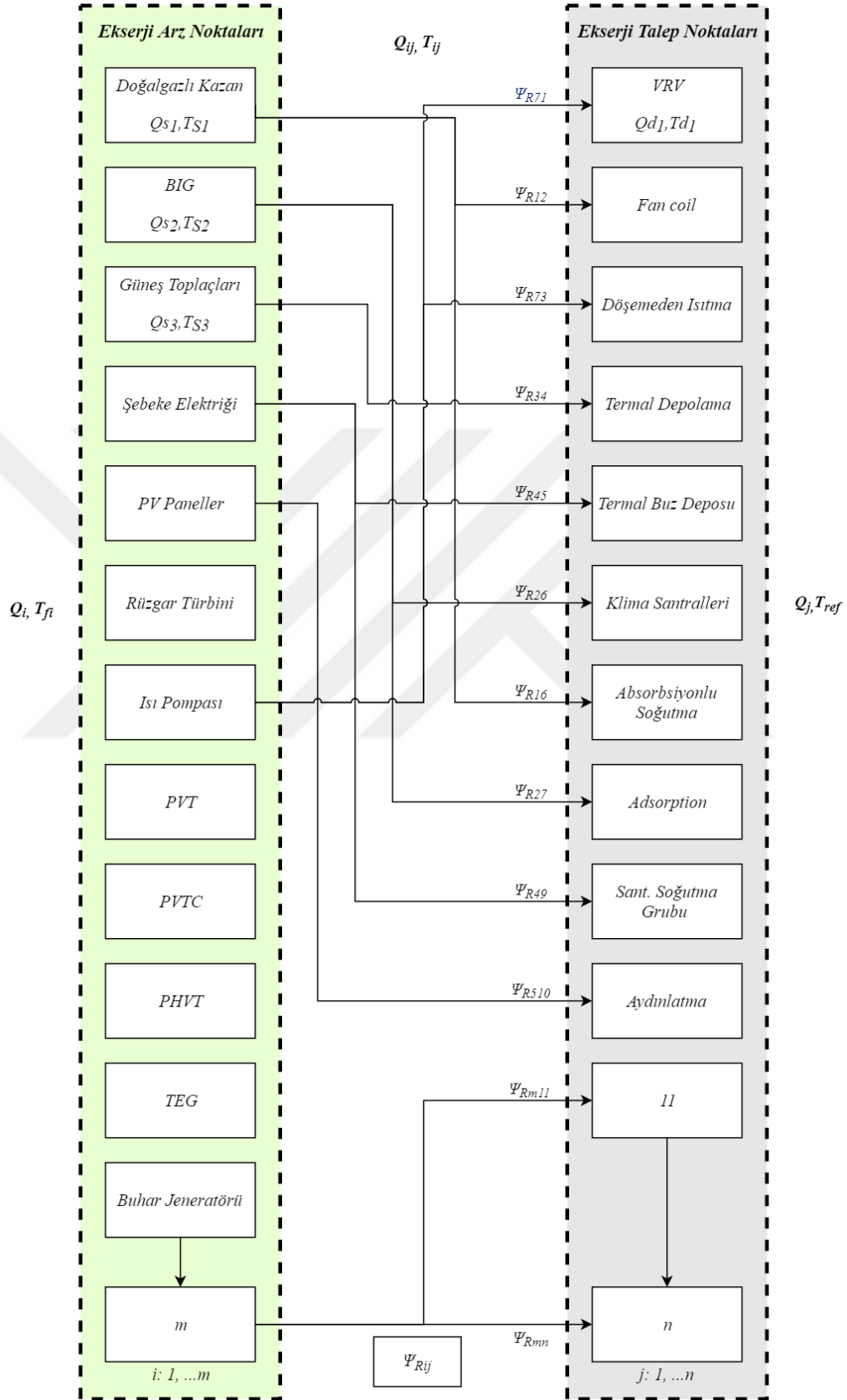


Şekil 3.1. Temel ekserji bloğu

Şekil 3.1’de, genel anlamda yüksek performanslı bir binada olması gereken yeşil tesisat bileşenlerinin her biri *Temel Ekserji Bloğunda* (Kılıkış, B., 2012) tariflenmiş, bir akış sürecindeki ekserji girdileri (Arz), temel ekserji akışı (Akış) ve ekserji talepleri (Talep) ayrı ayrı sınıflandırılmıştır.

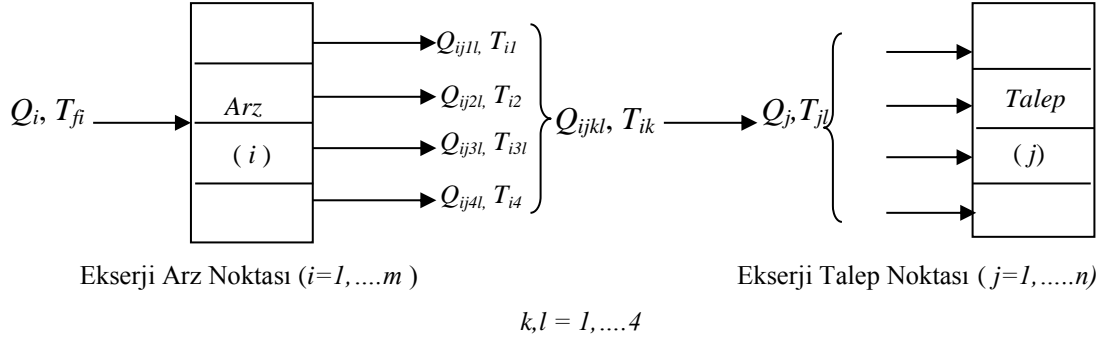
Temel ekserji bloğunda da belirtildiği gibi, binalarda birçok ekserji talebi ve ekserji arzı olduğu kabulü ile aşağıdaki ilişkisel ekserji modeli geliştirilmiştir.

3.1.1. Hiyerarşik ekserji modellemesi



Şekil 3.2. Çoklu arz ve talep noktaları ekserji ilişkileri

Şekil 3.2’de örnekleilmiş olan çoklu arz ve talep noktalarının hiyerarşik ilişkisi aşağıda Şekil 3.3’de detaylandırılmış olup tekil bir arz ve talep noktası örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Tekil arz ve talep noktaları arasındaki ekserji ilişkisi modeli

Tekil arz noktasına (i) T_{fi} (gerçekte veya eşdeğer) sıcaklığında ve Q_i miktarında yakıt ya da güç girmektedir. Tekil arz noktası (i) değişik sıcaklıklarda (T_{ij}) (gerçek veya eşdeğer) ve değişik güç miktarındaki (Q_{ij}) çıktıyı farklı talep noktalarına (j) sağlamaktadır. İşlemdeki her girdi ve çıktının ekserji değerleri (Bölüm 1-3’de açıklanmış olan ideal Carnot çevrimine göre) 1.5, 1.6 ve 1.7 eşitlikleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu modelde her donanım için bir tür yakıt (güç/ısı) girdisi, en fazla dört değişik (güç/ısı) çıktısı öngörülmüştür. Eş zamanlı olarak birden fazla yakıt ya da güç kullanan sistemlerde, kullanılan tüm yakıtların/güçlerin ısı değeri veya güç girdisi ortalaması alınarak tek yakıt şeklinde yorumlanacaktır. Eş zamanlı değilse, kullanıldığı zaman dilimine göre ilgili yakıtın/gücün değeri alınacaktır.

Aynı şekilde ekserji talep noktaları (j) da en az bir, en fazla dört arz noktasından ihtiyaçlarını karşılayabilirler. Bu nedenle çoklu arz ve talep noktaları kullanılmıştır. Şekil 3.3’de $i=1$ ’in çıktıları $k=1,2,3,4$ olarak tanımlanmıştır. Talep tarafının alt paydaşları ise $l=1,2,3,4$ olarak tanımlanmıştır.

3.1.2. Saatlik optimizasyon denklemi

Çoklu arz ve talep noktaları arasındaki ekserji ilişkisi ve amaç fonksiyonunun eniyileme sürecindeki kısıtları REMM kullanılarak formüle edilmiştir ve sistemin Ortalama Akılcı Ekserji Veriminin ($\bar{\Psi}_R$) hesaplanması için denklem (3.1) geliştirilmiştir.

Denklemdaki i ve j indisleri sırasıyla arz ve talep noktalarını/sistemlerini veya yüklerini temsil etmektedir. Q_{ij} (kWh) ise sistem (i) tarafından sistem (j) ye sağlanması gerekli olan enerjidir.

REMM'e göre saatlik optimizasyon denklemi arz tarafından bakıldığında aşağıdaki gibi tanımlanmıştır,

$$\bar{\Psi}_R = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{ij} \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_i}\right) \Psi_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{ij} \left(1 - \frac{T_{ref}}{T_j}\right)} \quad (3.1)$$

Denklemin kısıtları

$$T_i > T_j \text{ (Isıtma)}$$

$$T_i < T_j \text{ (Soğutma)}$$

$$\sum Q_i > \sum Q_j$$

Denklemin 3.1, binaya temin edilen ekserji ile bina gereksinimi ekserjinin ne kadar dengeli olduğunun ifadesidir. Amaç bina işletiminde $\bar{\Psi}_R$ değerini maksimum değeri olan 1'e yaklaştırmaktır.

Yüksek performanslı yeşil binalarda akılcı ekserji yönetim veriminin $0.7 \leq \bar{\Psi}_R \leq 1$ aralığında olması beklenir.

Denklemdaki tüm bileşenler, sıcaklık değerleri ve ısı akısı şeklinde ve Carnot çevrimi kapsamında ifade edilmiştir. Yukarıda da değinildiği üzere, rüzgâr gibi enerji kaynaklarının eşdeğer sıcaklığının ortak bir paydada hesaplanması gerekir.

Örneğin, güneş enerjisinin Carnot çevrimi tabanındaki eşdeğer kaynak sıcaklığının (T_f) hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır (Kılış,Ş.,2007).

$$\frac{I}{1,366} = \frac{\left(1 - \frac{T_{ref}}{T_f}\right)}{\left(1 - \frac{T_{ref}}{5,800 K}\right)} \quad (3.2)$$

Burada 5,800 K güneş yüzeyinin ortalama sıcaklığı, 1,366 W/m² ise güneşten dünya atmosferine gelen güneş enerjisinin yıllık ortalama değeri (güneş enerjisi sabiti) olmak üzere,

$$I \text{ (W/m}^2\text{)}, \text{ güneşin ışınım şiddeti,}$$

T_{ref} , Ortalama Toprak Sıcaklığı (referans sıcaklık) olup, 283K olarak alınmıştır.

Rüzgâr enerjisinin Carnot çevrimi tabanındaki eşdeğer kaynak sıcaklığının hesaplanmasında ise aşağıdaki formül kullanılır (Kılış,Ş.,2007).

$$T_f = \frac{T_{ref}}{(1-\eta_I)} \quad (3.3)$$

η_I , Rüzgar türbininin rüzgar gücünü elektrik gücüne dönüştürüm verimi olup, Betz kanununa göre ideal koşulda T_f 695 K'dir.

Biyogaz ve doğalgaz için birim ekserji ise yanma sıcaklığına göre tariflenmiş olup, denklem (1.5) kullanılarak, referans çevre sıcaklığı $T_{ref} = 283 K$, doğalgazın yanma sıcaklığı $T_f=2,000 K$ alınarak aşağıdaki gibi yazılmıştır. (Kılış,Ş.,2007)

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{283}{2,000}\right) = 0.858 \text{ kW/kW} \quad (3.4)$$

3.1.3. Bütünleşik CO_2 salım çözümlemesi ve çevresel etki denklemi

Ekserji tabanlı modelin çevresel etkisi/getirileri CO_2 tabanında hesaplanmıştır. REMM'e göre toplam CO_2 salımı, binadan kaynaklı birincil CO_2 salımı (CO_{2i}) ile binaya elektrik enerjisini temin eden termik santrallerin CO_2 salımının (ΔCO_{2j}) toplamıdır (Kılış,Ş.,2010).

$$\sum CO_{2i} = CO_{2i} + \Delta CO_{2j} = \left\{ \frac{c_i}{\eta_i} + \frac{c_j}{\eta_j \eta_T} \times (1 - \bar{\Psi}_R) \right\} \times Q + \left(\frac{c_j}{\eta_j \eta_T} \right) \times E \quad (3.5)$$

Denklemdaki η_i , terimi binada fosil kökenli yakıt kullanan cihaz verimi, η_j elektrik santralının verimi, η_T ise iletim verimidir. Teoride tüm mevcut güç santrallerinin ortalama üretim, nakil ve koşullandırma verimlerinin toplamı η_t , olarak ifade edilmiş olup 0.32 olarak varsayılmıştır.

Buna göre binadaki toplam CO_2 salımının hesaplanmasında kullanılmak üzere çevresel etki denklemi aşağıdaki gibi yazılmıştır,

$$\sum CO_2 = \left\{ \frac{c_i}{\eta_{1k}} + \frac{c_j}{\eta_t} \times (1 - \bar{\Psi}_R) \right\} \times Q + \left(\frac{c_j}{\eta_t} \right) \times E \quad (3.6)$$

Denklemdaki c_i , fosil kökenli yakıtların birim CO_2 salım katsayısıdır. (Eğer binada kazan gibi fosil kökenli yakıt kullanan cihazlar varsa ve o saat devrede ise kullanılan fosil kökenli yakıtın birim CO_2 salım katsayısıdır). Sürdürülebilir sistemler için 0 olan bu katsayının, doğalgaz için varsayı değeri 0.20 kg CO_2 /kWh'dir. c_j ise mevcut güç santrallerinin ortalama birim CO_2 salım katsayısıdır. Q ve E sırasıyla; sistemin veya cihazın o saatteki ısı ve elektrik enerjisi yüklerini, η_{1k} ise kazan verimini temsil etmektedir (Kılış,B.,2009).

Denklemin (3.6)'nın binada kurulu sistem ve cihazlara ve bu cihazların o saat devrede olup olmadıklarına göre düzenlenmesi gerekir. Sözgelimi sistemde ısı pompası varsa ve bu ısı pompası şebeke elektriği ile çalışıyorsa denklem (3.6) aşağıdaki gibi yazılır.

$$\sum CO_2 = \left\{ \frac{c_j}{\eta_t} \times (1 - \bar{\Psi}_R) \right\} \times Q + \left(\frac{c_j}{\eta_{tCOP}} \right) \times Q \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.7'deki Q değeri ısı pompasının o saat diliminde üreteceği ısı (veya soğuk) miktarıdır.

Bu denklemler, o saat diliminde çalışmakta olan her sistem / cihaz için ayrı ayrı yazılmakta ve o saat dilimi içerisindeki toplam CO_2 salımı hesaplanmaktadır.

Yine aynı şekilde denklem (3.6) ve/veya denklem (3.7) kullanılarak referans varsayı değerlerine göre referans CO_2 salımı hesaplanmakta ve aradaki salım farkından çevresel getiri ve götürü hesabı yapılmaktadır.

Burada baz bina referans bina olarak alınmıştır. Baz bina; ısıtma için sadece doğalgazlı kazan, soğutma için sadece şebeke elektriği ile çalışan soğutma grubu kullanan bina olarak tanımlanabilir.

Baz bina için CO_2 salımı aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

$$(CO_2)_B = Q_B \times \left(\frac{c_i}{\eta_{1k}} \right) + E_B \times \left(\frac{c_j}{\eta_t} \right) \quad (3.8)$$

Ekserji verimliliği 1'e yaklaştığında, çevresel etki sıfıra yaklaşır, çünkü ekserji bir formdan diğerine kayıpsız olarak dönüştürülür ve süreç tersine çevrilebilir.

3.1.4. Amaç fonksiyonu ve kısıtlar

Mekanik tesisat odasındaki sistemlerin; türleri, tipleri, kapasiteleri, sayıları ve melezleştirilip tümleşmelerinin en uygun bir işletim için tasarlanacağı bir SANAL ORTAM'ın oluşturulması amacıyla, dört değişkenli bir optimizasyon kurgusu geliştirilmiştir.

Buna göre, amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır ve dört ana parametre bulunur.

$$AF = \sum_i^4 a_i F_i \quad (3.9)$$

Amaç Fonksiyonundaki parametrelerin ağırlık oranlarının, a , toplamı ise,

$$\sum_i^4 a_i = 1 \quad (3.10)$$

Amaç Fonksiyonunun kısıtları ;

$$0 \leq a_i \leq 1$$

olarak tanımlanmıştır.

Amaç Fonksiyonunda yer alan parametreler sırasıyla;

1. Akılcı Ekserji Yönetim Verimliliği, F_1 , ($\bar{\Psi}_R$)

$$0 \leq \bar{\Psi}_R < 1$$

kısıtı ile denklem 3.1 de tanımlanmıştır.

2. CO_2 Salımı, F_2 ,

$\Sigma CO_2 = f(Q, E)$ denklem 3.6'dan

$$dCO_2 = \frac{\Sigma CO_2}{(Q+E)} \leq 1.34 \text{ kg/kWh}$$

ΣCO_2 , Toplam CO_2 salımı, $kg CO_2$

Q , Sistem ya da cihazın o saatteki ısı yükü, kWh ,

E , Sistem ya da cihazın o saatteki elektrik yükü, kWh

$$\bar{\Psi}_R = 0,27$$

$$\eta_{1k} = 0,80$$

$$c_i, c_j = 0,2 \text{ kg } CO_2/kWh$$

varsayı değerleri olmak üzere, birim bina yükü için $1.34 \text{ kg}/kWh$ referans değer olarak alınmıştır.

3. Enerji Verimliliği, F_3

Saatlik, aylık ya da yıllık bazda değerlendirilmek üzere, binanın ısı ve elektrik yükü toplamının (kWh), binaya giren toplam ısı enerjisi ve elektrik gücüne (binada kurulu türbin, PV paneller dahil) oranıdır.

1. Yasa Enerji Verimliliği $\eta_I \geq 0.90$ olarak kabul edilmiştir.

4. Geri Ödeme Süresi, F_4 , (G)

G , Bina yatırım maliyetinin yıllık net kâra oranıdır. Net kâr, söz konusu binanın, baz bina koşulu için hesaplanacak enerji maliyeti (TL_1) ile yüksek performans binası koşulunda harcadığı enerji maliyeti (TL_2) arasındaki farktır.

$$G \leq 4 \text{ yıl}$$

$$g = \frac{G}{4}$$

$$g \leq 1$$

olarak alınmış ve amaç fonksiyonumuzu aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$AF = a_1 \bar{\Psi}_R + \frac{a_2}{dCO_2/1,34} + a_3 \eta_I + \frac{a_4}{g} \quad (3.11)$$

Amacımız bu fonksiyonun maksimize edilmesidir. Bunun sağlanabilmesi için Sistemin Akılcı Ekserji Yönetim Verimini ($\bar{\Psi}_R$) ve Enerji Verimliliğini (η_I) maksimize ederken, CO_2 salımının ve Geri ödeme süresinin (g) minimize edilmesi hedeflenmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bölüm 3’de geliştirilen ekserji tabanlı modelin, sanal bir örnek yüksek performans binasında, mevcut tasarım ve mevcut otomasyon sistemi ile mukayese edilerek sınanması için öncelikle yüksek performans binasındaki olası mekanik tesisatın vektörel bilgisayar destekli tasarım veri çatkısı oluşturulmuştur. Bu veri çatkısı kullanılarak ekserji tabanlı model özelinde excel tabanlı bir optimizasyon algoritması geliştirilmiştir. Amaç, yapıda uygulanan yenilenebilir, sürdürülebilir, atık enerji kaynaklarına dayalı tekil (PV gibi) veya melez (PVT gibi) sistem ve cihazların yanı sıra kojenerasyon, ısı pompası, enerji depolaması, atık ısı ile soğutma gibi akılcı, verimli ve çevre duyarlı sistemler ile alışılmış sistemlerin (kazan gibi) topluca uygulanmasında, bunların değişken yüklere göre önceliklerinin ve yük paylaşım oranlarının saatlik tabanda eniyilemesi yapılarak sistemin otomasyonunun sağlanması, sonuçların amaç fonksiyonumuzda yer alan metrikler ve diğer bina performans metrikleri doğrultusunda değerlendirilmesidir.

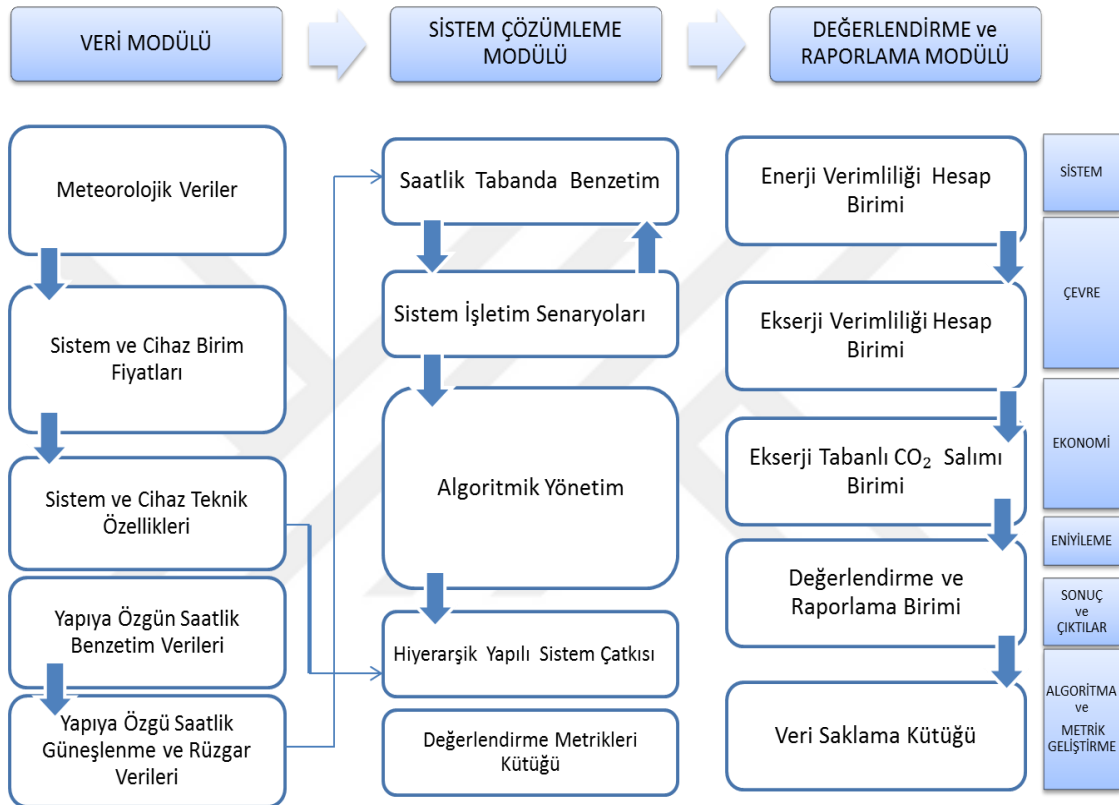
4.1. Algoritma Çatkısının Tanımlanması

Şekil 4.1’de gösterilmiş olan algoritma çatkısı dikey ve yatay eksenlerde yer alan etkinlik ve modüllerden oluşmuştur.

Algoritma çatkısının dikey ekseninde yer alan etkinler,

1. Sistem Enerji Kazanımı; Sistemin ekserji verimliliği saatlik tabanda hesaplanmaktadır.
2. Çevresel Duyarlılık; CO₂ salımı azaltımları ekserji verimliliğine bağlı olarak hesaplanır.
3. Ekonomiklik; İlk yatırımla getirilen ek mali yük yüzdesi, işletmedeki giderler ve kazanımlar da dikkate alınarak, geri dönüş süresi hesaplanır.
4. Optimizasyon; Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak seçilen (isteğe bağlı olarak) sistemlerin daha değişik tip ve kompozisyonları ve değişik yük paylaşımları çeşitliliğinde daha iyi sonuçların irdeleneceği (pasif) eniyileme yöntemine ilişkin bir algoritmadır. Bu algoritma belirli kısıtlar içerisinde değişik tip kompozisyonların ve yük paylaşımlarının sınanıldığı döngülerden ve bu döngülere ilişkin değerlerden oluşmaktadır.

5. Sonuç ve çıktılar; Tüm değerlendirme, hesap ve çözümlerinin irdelenmesi ile ortaya çıkan bilgiler ve ölçütlere göre sistem performans düzeyinin raporlanmasını içerir.
6. Algoritma ve Metrik Geliştirme;Yazılımın optimum kontrol süreci içerisinde uygulanması ile elde edilecek tüm verilerin saklandığı bir veri kütüğünün oluşturulmasını kapsamaktadır.



Şekil 4.1. Algoritma çatkısının modülleri

Algoritma çatkısının yatay ekseninde ise üç bilişim katmanı yer alır.

1. Veri Modülü
2. Sistem Çözümleme Modülü
3. Değerlendirme ve Raporlama Modülü

4.1.1. Veri modülü

Bu katman, tüm saatlik tabanda sistem yükleri benzetimi (simülasyonu), performans çözümlerine, ekonomik değerlendirme, raporlama, fiyat ve maliyet kestirimleri için uygun formatlarda bilgi yüklemelerini kabul eden, bilgi

güncellenmesine olanak verecek etkileşimleri ve ara yüzleri sağlayarak bilgi üreten, bilgiler arası etkileşimi ve eşgüdümü sağlayan, varsayı değerleri üretip güncelleyebilen dinamik bir veri bankaları ve kütükler bütünüdür. Meteorolojik Veri Bankası, Sistem ve Cihaz Birim Fiyatları Veri Bankası, Cihaz ve Sistem Özellikleri Veri Bankası, Yapıya Özgün Saatlik Benzetim Verileri ile Saatlik Güneşlenme ve Rüzgar Verilerinin yer aldığı toplam beş veri bankasından oluşmaktadır.

4.1.1.1. Meteorolojik veri bankası

Saatlik olarak, dış sıcaklıklar, bağıl nem, hava basıncı bilgilerinin yer alacağı bir veri bankasının temel yapısını oluşturur. Bilgilerin nereden ve nasıl çekileceği ve doğrulanacağı bu modülde çözülmüştür. Uygulamada, bina bazında kurulu bir meteoroloji istasyonundan veri aktarımı yapılmıştır.

4.1.1.2. Sistem ve cihaz birim fiyatları veri bankaları

Tüm cihaz ve sistemleri kapsayacak sayı ve içerikte, boş veri bankaları oluşturulmuştur. İlgili veriler kullanıcı tarafından girilmek üzere, veri bankasının doldurulma yöntemi, ara yüz, kaynak ve veri giriş güvenliği ve veri doğrulama sistematığı algoritmik tabanda geliştirilmiştir. Bu uygulamada ekserji tabanlı çözümler hedeflendiği için kapsam dışı bırakılmıştır.

4.1.1.3. Cihaz ve sistem özellikleri veri bankaları

4.1.1.2 paketindeki içerikte ve kapsamda olmak üzere her sistem ve cihazın hangi verilerinin gerekli olduğu incelemiş, bir ortak tanım (örneğin enerji veriminin yüke veya meteorolojik koşullara göre değişiminin ikinci dereceden polinom ile ifadesi gibi) geliştirilerek bu tanımlara göre veri girişlerini sağlayacak algoritmalar geliştirilmiştir.

4.1.1.4. Yapıya özgün saatlik benzetim verileri

Bu veriler EnergyPlus gibi saatlik tabanda veri üreten ticari benzetim paket yazılımlarından ithal edilecektir. Alınacak verilerin neler olacağı, hangi formatta

dizileceği, bu bilgi aktarımının dışarıdan güvenli olarak hangi yetki sınıflarında girilebileceği bu paket kapsamında tanımlanmıştır.

4.1.1.5. Saatlik güneşlenme ve rüzgâr veri bankaları

Yapı konumuna en uygun saatlik güneşlenme verilerinin oluşturacağı veri bankasına binanın gölgeleme verileri EnergyPlus (veya benzeri) bina benzetim yazılımlarından aktarılacaktır. Gerçek zamanlı sistem otomasyonunda ise veriler binada bazında kurulu meteoroloji istasyonundan alınmıştır.

4.1.2. Sistem çözümleme modülü

Bilgi ve verilerin üretimi, güncellenmesi, bilgi ve verilerin kullanıcı ve/veya kütüksel girdi olarak kabulü, bilgilerin yönlendirilmesi, işlenmesi, çözümleme ve hesapların yapılması, sonuçların oluşturulup raporlanması, geri besleme veri tabanının sınıflı olarak oluşturulmasına ilişkin altyapı için gerekli tüm komut, düzenleme ve sıralama işlemleri bu modül kapsamındadır.

Örneklenen **Hiyerarşik Yapılı Sistem Çatması** (Bölüm 4.2) vektörel ortamda vektörler dizini şeklinde oluşturulmuş ve tüm değişkenler adlandırılarak, sembolleri tanımlanmıştır. Bu çatma vektörlerinin uçları açık olup, kullanıcı tarafından ekleme ve değişiklikler yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Çatma vektörleri arasındaki tüm ileri ve geri bilgi akış ve bilgi güncelleme adresleri ve göstericileri algoritma tabanında yer almıştır.

Saatlik tabanda sistemin enerji performans benzetim biriminin, **Saatlik Performans Benzetim Çözümleme Algoritması** (Bölüm 4.3) hazırlanmıştır.

Yapıda öngörülen tüm enerji sistemlerinin ve cihazların, saatlik koşullarda olası işletim ve devreye alma önceliklerinin oluşturulduğu mantık tabanı ve algoritmanın sınanmasında kullanılacak **üç adet Referans Master İşletim Senaryosu**, Bölüm 4.5’de verilmiştir.

Performans değerlendirme ölçütlerinin eşitlik, eşitsizlik değerleri, ölçütsel kısıtlar ve verisel tabanlarının özelliklerinin tespiti yapılarak, tüm algoritmaların başvurabileceği **Performans Değerlendirme Ölçütleri** (Ek-1) tanımlanmıştır.

4.1.3. Değerlendirme ve raporlama modülü

Cihaz bazında üretilen enerji miktarları, yakıt tasarrufu, performans parametreleri, birinci ve ikinci yasaya göre CO_2 salım miktarları ile bunların parasal getirileri saatlik tabanda hesaplanarak raporlanmaktadır. Bu modül ESER Binasına özel olarak tasarlanmış olmakla birlikte, tasarım opsiyonu kullanıcıya bırakılmıştır.(Şekil 4.29 - 4.37)

4.1.3.1. Enerji verimliliği hesap algoritması

Bu algoritma içerisinde, yapıda kurulacak/kurulu sistem ve cihazların saatlik bina yüklerine karşın, Bölüm 4.5’de referans olarak hazırlanmış olan üç adet işletim senaryosunu takip ederek saatlik enerji ve yakıt tüketimlerinden olası tasarruflar saatlik tabanda hesaplanacaktır. İşletim senaryolarına göre devreye girip çıkacak veya meteorolojik koşullara göre devrede olup olmayacak cihazlar (örneğin; rüzgar yoksa türbinin devre dışı kalması, gece saatlerinde PV gözelerinin elektrik üretmemesi gibi), ayrıca kısmi yüklerle düşecek sistem ve cihazlardaki verim kayıpları, meteorolojik koşullara göre kapasite kayıpları (kojenerasyon sistemindeki gibi) veya ısı pompasının talep sıcaklıklarına göre COP değerlerinin değişmesi gibi etmenler de göz önünde tutulmuştur. Bu cihazların performansları 4.1.1.3’deki verilerle düzenlenmiştir. Üç senaryodan her birine ilişkin saatlik yakıt ve enerji tasarrufları/kayıpları, o yılın yakıt ve fiyat kestirimlerine bağlı olarak parasal edere çevrilmektedir. Yakıt ve enerji tasarrufuna bağlı olarak CO_2 salımlarındaki azalma da hesaplanmaktadır. Fazla gelen ısının veya soğğun depolanması seçenekleri de senaryolarda yer almaktadır. Üçlü veya ikili elektrik tarifelerinin uygulanıyor olması durumunda, elektrik enerjisi fiyat kestirimleri buna göre düzenlenecektir. Cihazların, özellikle ısı ve elektrik üreten kojenerasyon (BIG) gibi sistemlerin devreye girip çıkmaları ve yük takip özellikleri elektrik tarifelerine göre saatlik tabanda güncellenmektedir.

4.1.3.2. Ekserji verimliliği hesap algoritması

Kullanıcının seçimine bağlı bir alt pakettir. Bu seçenek kullanıldığında 4.1.3.1 algoritmasına benzer bir yaklaşımla ekserji verimliliği hesaplanacaktır. Akılcı Ekserji

Yönetim Verimi ve Bütünleşik CO_2 Salım Çözümlemesi'nin eşitlikleri (Denklem 3.1, 3.5, 3.6) ve hesap yöntemi kullanılmıştır.

4.1.3.3. CO_2 salım kestirim algoritması

Ekserji verimliliğinin hesaplandığı durumda, CO_2 salımları ve salım tasarruflarının karbon piyasasındaki parasal karşılığı saatlik tabanda hesaplanmaktadır.

4.1.3.4. Değerlendirme, raporlama ve veri saklama algoritmaları

Tüm sonuçların izlenebileceği, bazı verilerin etkileşimli olarak (sadece izinli kullanıcılar tarafından) değiştirilip sonuçların mukayese edilebileceği, dökümlerin alınabileceği raporların hazırlanması, saklanması, elektronik ortamda iletilmesi/ paylaşılması, basılması ve arşivlenmesi, bilgilerin sınıflandırılarak bir kütükte biriktirilmesine yönelik tüm algoritmaları kapsamaktadır.

4.2. Hiyerarşik Yapılı Sistem Çatması

Bölüm 4.1.2'de bahsedilen "Hiyerarşik Sistem Çatması"nın oluşturulması için öncelikle tüm sistem ve cihazlar hiyerarşik bir veri bankası içerisinde tanımlanmıştır.

Çizelge 4.1'de olası sistem ve cihaz türlerine ilişkin *Sistem/Cihaz Ana Tanım Veri Tabanı* hazırlanmıştır. Bu kapsamda tasarım paletine yirmiyedi ayrı tip cihaz seçeneği konulmuş ve her bir seçeneğe üç ayrı tip ve sayı / kapasite olanağı sağlanmıştır.

Kullanıcının ihtiyaçları doğrultusunda yeni ilaveler yapılabilir ya da ihtiyaç olmayan sistem ve cihazlar iptal edilebilir.

Çizelge 4.1. Tasarım paleti için cihaz seçenekleri ve kapasite faktörü çizelgesi

Dizin No	SİSTEM/CIHAZ	Tanım	Kapasite [kW]	Tanım	Kapasite [kW]	Tanım	Kapasite [kW]
1	Birleşik Isı ve Güç Sistemi (BIG)	1	80	2	120	3	150
2	Isı Pompası (IP)	1	60	2	80	3	150
3	ABS	1	-	2		3	
4	Adsorbsiyon ile Soğutma Makinesi	1		2		3	
5	Isı Kazanı						
6	PV Modül						
7	Düzlemsel Güneş Toplacı						
8	Odaklayıcı Güneş Toplacı						
9	PVT (Photo-Voltaic Thermal)						
10	PVTC (Photo-Voltaic Thermal and Cooling)						
11	PHVT (Photo-Heat Voltaic and Thermal)						
12	Biyogaz Reaktörü						
13	Rüzgar Türbini						
14	Sıcak Su Deposu						
15	Soğuk Su Deposu						
16	Isı Deposu (Çakıl taşı havuzu, Labirent vb)						
17	Buz Tankı (TSU)						
18	Chiller						
19	Boylar						
20	Buhar Jeneratörü						
21	Mekanik Enerji Deposu (Volan, Basınçlı Kap vb)						
22	Elektrik Enerji Deposu (Akü, Flow Battery vb)						
23	Soğutma Kulesi						
24	Hidrolik Enerji Deposu						
25	Havalı Soğutucu (Radyatör)						
26	TEG (Thermo-electric Generator)						
27	Tromb Duvarı						

Sistem/Cihaz Ana Tanım Veri Tabanı uyarınca saatlik verilere dayalı olarak her saat içeriği değişecek *Gerçek İşletim Sistem/Cihaz Veri Tabanı* ise Çizelge 4.2' de örneklenmiştir.

Çizelge 4.2. Gerçek işletim sistem/cihaz veri tabanı (saatlik tabanda)

Dizin No	Anlık Kullanılabilir Donanım	Tanım	Kapasite [kW]	Tanım	Kapasite [kW]	Tanım	Kapasite [kW]
1	Birleşik Isı ve Güç Sistemi (BIG)	1		2		3	
2	Isı Pompası (IP)						
3	ABS						
4	Adsorbsiyon ile Soğutma Makinesi						
5	Isı Kazanı						
6	PV Modül						
7	Düzensel Güneş Toplacı						
8	Odaklayıcı Güneş Toplacı						
9	PVT (Photo-Voltaic Thermal)						
10	PVTC (Photo-Voltaic Thermal and Cooling)						
11	PHVT (Photo-Heat Voltaic and Thermal)						
12	Biyogaz Reaktörü						
13	Rüzgar Türbini						
14	Sıcak Su Deposu						
15	Soğuk Su Deposu						
16	Isı Deposu (Çakıl taşı havuzu, Labirent vb)						
17	Buz Tankı (TSU)						
18	Chiller						
19	Boyer						
20	Buhar Jeneratörü						
21	Mekanik Enerji Deposu (Volan, Basınçlı Kap vb)						
22	Elektrik Enerji Deposu (Akü, Flow Battery vb)						
23	Soğutma Kulesi						
24	Hidrolik Enerji Deposu						
25	Havalı Soğutucu (Radyatör)						
26	TEG (Termo-elektrik üreteç)						
27	Tromb Duvarı						

Bu çizelgeye sadece o saatte çalışabilir sistem ve cihazlar işlenir. Örneğin, o saat dilimi akşam saati ise PV ve benzeri sistemler kullanılabilir değildir. Aynı şekilde, o saat için kestirilen rüzgâr hızı minimum türbin hızının üzerinde değilse türbin güç üretimine hazır değildir.

Bu çizelge, o saat diliminde kullanılabilir sistem ve cihazların bina yük taleplerine olası katkılarını belirler. Katkılar ise sistem ve cihaz tabanında sistem ve cihazların o saat dilimindeki performans düzeltim katsayılarına bağlıdır. Bu gibi değerler için her sistem/ cihaz türüne özel ayrı bir veri bankası oluşturulur. Bu veri bankasında o sistemin saatlik tabanda performansını belirleyecek tüm veriler için yer ayrılmıştır. Bu veriler o saat dilimine ait tüm meteorolojik işletme koşulları veri

bankaları, o saate ait güneş ışınımı, rüzgâr hızı veri bankaları ve Çizelge 4.3'deki sistem/cihaz özellikleri ile irtibatlandırılır.

BIG için hazırlanmış olan örnek veri çatkısı Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. BIG için hazırlanan örnek veri çatkısı

Dizin No	Tanımlama Bilgisi	Sembol	Değer(ler)
1	Tip ve Model		
2	Standart Kapasite		kWe
3	Yükseklik çarpanı (Sabit)	h	
4	Hava sıcaklığı çarpanı	t	t_0, t_1, t_2
5	Nem çarpanı	n	n_0, n_1, n_2
6	Basınç çarpanı	p	p_0, p_1, p_2
7	Güç ısı oranı	C	
8	Buhar güç oranı*		
9	Eksoz sıcaklığı		$^{\circ}\text{C}$
10	Ceket suyu sıcaklığı		$^{\circ}\text{C}$
11	Toplam ısı verimi		
12	Buhar verimi		
13	Verim Eğrisi (Güç için)		v_0, v_1, v_2
14	Yük Eksoz Sıcaklık Eğrisi		s_0, s_1, s_2

* Yük oranına göre

Ayrıca, dış hava koşullarının cihazlara (Örneğin BIG) etkisi de hesaplarda dikkate alınmalıdır. Dış etmenler ya bina benzetiminden ya da (tesisat otomasyonunda) gerçek ve saatlik verilerden hesaplanır. Dış etmenlere ilişkin ölçüm (benzetim) değerleri bir alt veri bankası şeklinde esas veri bankasında yer almaktadır.

Binaya etkin tüm çevresel koşulların oluşturacağı veri bankası örneği Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Dış etmenler alt veri bankası

1	BİNA TANIMI:
2	KONUM Şehir: Ülke: Enlem, ° Boylam, ° Yükseklik, m
3	ZAMAN DİLİMİ Saat: Gün:
4	DIŞ KOŞULLAR KT Hava Sıcaklığı, °C Bağıl Nem, % Rüzgâr Hızı, m/s Rüzgâr Yönü Gölgeleme F Güneş Işınımı, W/m ² Hava Basıncı, kPa Bulutluluk Oranı Toprak Sıcaklığı, °C Kaynak Sıcaklığı, °C

Örneğin, belirli bir saat içerisindeki dış hava sıcaklığı (kuru termometre), bağıl nem ve hava basınç değerleri sistemde mevcut bir BIG sisteminin o saat içerisindeki kapasitesini ve yakıt verimini etkiler. Rüzgâr hızı, rüzgâr türbininin (sistemde varsa) güç çıktısını, güneş panelinin de (sistemde varsa) yüzeyden ısı kayıplarını etkiler vb. Gerçek ölçümlerden veya gölgelenme benzetimlerinden alınacak gölgelenme faktörü de güneş enerjili sistemlerin saatlik çıktılarını etkileyecektir. Bu etmenler arasında yer alan yükseklik (deniz seviyesinden), saate göre değişmeyen bir sabit olup doğrudan BIG verimini etkiler. Toprak sıcaklığı toprak kaynaklı ısı pompasının ısıtma veya soğutma tesir katsayısını etkiler. Kaynak sıcaklığı (yer altı suyu veya atık ısı gibi) aynı şekilde ısı pompasının performansını etkiler. Tüm veriler saatlik bazdadır.

Excel tabanında oluşturulan algoritma için bina bazında hazırlanan termal depolara ait alt veri bankası örneği çizelge 4.5’de verilmiş olup, uygulama binasına özgün olarak hazırlanmış örneği EK-4’de görülebilir.

Çizelge 4.5. Alt veri bankası örneği

PRİMER DEVRE	Birim
Primer Pompa	kW
Primer Eşanjör Verimi	
Debi	m ³ /h
Giriş Sıcaklığı	K
Çıkış Sıcaklığı	K
Basınç Kaybı	Pa
SEKONDER DEVRE	
Sekonder Pompa	kW
Sekonder Eşanjör Verimi	
Debi	m ³ /h
Giriş Sıcaklığı	K
Çıkış Sıcaklığı	K
Basınç Kaybı	Pa
DEPO	
Markası	
Adet	
Depo Akışkanı Özgül Isı (C_p)	kJ/kgK
Depo Akışkanı Yoğunluk	m ³ /kg
Depolama Hacmi	m ³
Şarj Süresi	H
Deşarj Süresi	H
Isı kaybı U değeri	kW/m ² K
Isı kayıp Yüzeyi	m ²
Ortam Sıcaklığı	K
ANLIK KAPASİTE	
	kW
DEPODA KALAN ISI	
	kW

4.2.1. Saatlik bina yükleri

Saatlik bina yükleri ise saatlik tabanda amaca uygun bir bina performans benzetim yazılımı çıktılarından alınarak, o saat için Çizelge 4.6'ya benzer bir veri bankasına işlenir. Bu çizelgede o saate ilişkin kullanıma uygun yakıtlar ve elektrik enerjisi birim fiyatları da yer alır.

Algoritma, işletmeye geçen bir binada kullanılacağında, saatlik benzetim verileri yerine, gerçek saatlik veriler kullanılarak o saat içerisinde çalışabilen cihazların öncelikleri belirli bir algoritma içerisinde oluşturulur (Karar Verme: Decision Making Algorithm).

Çizelge 4.6. Saatlik enerji ve güç verileri

ELEKTRİK YÜKLERİ		
AC, kWh		
DC, kWh		
ISI YÜKLERİ		
Sıcak Su, m ³		
Soğuk Su, m ³		
Isıtma, kWh		
Soğutma, kWh		
Buhar, kWh		
YAKITLAR		
Tip	Yanma Sıcaklığı, °C	Alt/Üst Isıl Değer kWh/m ³
GÜÇ		
Tarife	Başlangıç Saati	Bitiş Saati
Gece		
Gündüz		
Puant		

Bu çalışmada, binada doğru akım (DC) ve alternatif akım (AC) olarak iki ayrı tip güç girdisi ve talebi öngörülmüştür. “AB Smart Grid Programı” çerçevesinde doğru akıma (DC) bir yöneliş söz konusu olup, bu çalışmada da göz önünde tutulmuştur. Örneğin PV güneş modüllerinden elde edilen doğru akım gücü DC hat üzerinden doğrudan bilgisayarlar, aydınlatma cihazlarına (LED, OLED gibi) ve diğer ofis makinelerine verildiğinde inverter ve transformatör kayıpları önlenebilmektedir. Bu kayıplar genelde ısıya dönüştüğünden özellikle ofis binalarındaki soğutma yükleri de azalmaktadır.

Şebeke elektriği tarafında ise üçlü tarife olasılığı göz önünde tutulmuştur. Yakıt olarak da üç ayrı tip fosil kökenli veya biyoyakıt olarak öngörülmüştür.

4.2.2. Saatlik performanslar

Tüm bu veri bankaları ve diğer veri bankaları o saat için işlenerek o saat için yakıt tüketimi, yakıt tasarrufu, ekonomik getiri (varsa), CO_2 salımı ve referans CO_2 salımına göre CO_2 salımındaki azaltım ve bunun karbon piyasasındaki getirisi hesaplanmaktadır. Bu amaçla yakıt ve enerji fiyat kestirimleri kullanılır. Bu işlemleri takiben o saate ilişkin tesisatın performansı hesaplanır.

Çizelge 4.7. Saatlik performanslar

SAATLİK PERFORMANS	
Yük Karşılama Oranı	Yakıt Tüketimi
Isıl Yük	1
Güç AC	2
Güç DC	3
Ortalama Birinci Yasa Verimi, η_I	
Ortalama Akılcı Ekserji Verimi, Ψ_R **	
Ekserji Verimi, η_{II}	
PER, Birincil Enerji Oranı	
AER, Alternatif Enerji Oranı	
PES, Birincil Enerji Tasarruf Oranı, %	
PES_{RCHP} ***	
Toplam Yakıt Tasarrufu*****	
Ortalama COP_H	
Ortalama COP_C	
CO_2 Salımı, kg/h	
Baz Binaya Göre CO_2 azaltımı*****	
Maliyet	TL*

* Eksi maliyet kar miktarını simgeler

** Yeşil bina için $\Psi_R \geq 0,70$

*** BIG, PVT, PVTTC, PHVT vb. için

**** REMM (Akılcı Ekserji Yönetimi Verimi) Modeline Göre

*****Baz Tesisat Modeline Göre

Tüm veri bankalarının yer aldığı, ana veri bankasının genel görünümü ise Çizelge 4.8’de verilmiştir. Ana veri bankasında bina bilgileri, yakıt bilgileri, anlık kullanılabilir ekipmanlar ve performansları ile sistem ve cihazların tüm bilgileri görülmektedir.

Çizelge 4.8. Ana veri bankasının genel görünümü

BINA TANIMI:			MEKANİK TESİSAT SAATLİK VERİ BANKASI						
KONUM		NO	SİSTEM/ÇİHAZ	Tanım	[kW]	Tanım	[kW]	Tanım	[kW]
Şehir:		1	Birleşik Isı ve Güç Sistemi (BIG)						
Ülke:		2	Isı Pompası (IP)						
Enlem, °		3	Absorbsiyon ile Soğutma Mak.(ABS)						
Boylam, °		4	Adsorbsiyon ile Soğutma Mak.						
Yükseklik, m		5	Isı Kazanı						
ZAMAN DİLİMİ		6	PV Modül						
Saat:		7	Düzensel Güneş Toplacı						
Gün:		8	Odaklayıcı Güneş Toplacı						
DIŞ KOŞULLAR		9	PVT						
KT Hava Sıcaklığı, °C		10	PVTC						
Bağıl Nem, %		11	PHVT						
Rüzgâr Hızı, m/s		12	Biyogaz Reaktörü						
Rüzgâr Yönü		13	Rüzgâr Türbini						
Gölgeleme F		14	Sıcak Su Deposu						
Güneş Işınımı, W/m ²		15	Soğuk Su Deposu						
Hava Basıncı, kPa		16	Isı Deposu						
Bulutluluk Oranı		17	Buz Tankı (TSU)						
Toprak Sıcaklığı, °C		18	Chiller						
Kaynak Sıcaklığı, °C		19	Boylar						
ELEKTRİK YÜKLERİ		20	Buhar Jeneratörü						
AC, kWh		21	Mekanik Enerji Deposu						
DC, kWh		22	Elektrik Enerji Deposu						
ISI YÜKLERİ		23	Soğutma Kulesi						
Sıcak Su, m ³		24	Hidrolik Enerji Deposu						
Soğuk Su, m ³		25	Havalı Soğutucu (Radyatör)						
Isıtma, kWh		26	TEG						
Soğutma, kWh		27	Tromb Duvarı						
Buhar, kWh									
			ANLIK KULLANILABİLİR EKİPMAN						
YAKITLAR		NO	SİSTEM / ÇİHAZ	Tanım	[kW]	Tanım	[kW]	Tanım	[kW]
Tip	Yanma Sıcaklığı, °C	Isıl Değ. kWh/m ³	1	Birleşik Isı ve Güç Sistemi (BIG)					
			2	Isı Pompası (IP)					
			3	Absorbsiyon ile Soğutma Mak.(ABS)					
			4	Adsorbsiyon ile Soğutma Mak.					
GÜÇ			5	Isı Kazanı					
Tarife	Başlangıç Saati	Bitiş Saati	6	PV Modül					
Gece			7	Düzensel Güneş Toplacı					
Gündüz			8	Odaklayıcı Güneş Toplacı					
Puant			9	PVT					
SAATLİK PERFORMANS			10	PVTC					
Yük Karşılama Oranı		Yakıt Tüketimi	11	PHVT					
Isıl Yük		1	12	Biyogaz Reaktörü					
Güç AC		2	13	Rüzgâr Türbini					
Güç DC		3	14	Sıcak Su Deposu					
Ort. Birinci Yasa Verimi, η_I			15	Soğuk Su Deposu					
Ort. Akılcı Ekserji Verimi, Ψ_R , **			16	Isı Deposu					
Ekserji Verimi, η_{II}			17	Buz Tankı (TSU)					
PER, Birincil Enerji Oranı			18	Chiller					
AER, Alternatif Enerji Oranı			19	Boylar					
PES, Birincil En. Tas. Yüzdesi %			20	Buhar Jeneratörü					
PES _{RCHP} ***			21	Mekanik Enerji Deposu					
Toplam Yakıt Tasarrufu *****			22	Elektrik Enerji Deposu					
Ortalama COP _H			23	Soğutma Kulesi					
Ortalama COP _C			24	Hidrolik Enerji Deposu					
CO ₂ Salımı, kg/h			25	Havalı Soğutucu (Radyatör)					
Baz Binaya Göre CO ₂ azaltımı*****			26	TEG (Thermo-electric Generator)					
Maliyet	TL*		27	Tromb Duvarı					

* Eksi maliyet kar miktarını simgeler

** Yeşil bina için en az 0,70 varsayıldı.

*** BIG, PVT, PVTC, PHVT vb. gibiler için)

**** REMM (Akılcı Ekserji Yönetimi Verimi) Modeline Göre

*****Baz Tesiilat Modeline Göre

4.3. Saatlik Tabanda Bina Benzetim Yükleri (Sistem Çözümleme Modülü)

Oluşturulacak algoritmanın sanal ortamda denenmesi için başka bir benzetim paketinden ithal edilecek saatlik bina yüklerine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu amaçla ASHRAE 90.1-2007 Standartına göre bina enerji modellemesi yapılmış mevcut bir yüksek performanslı yeşil binanın saatlik yükleri kullanılmıştır. EnergyPlus, binaların ısı yüklerini, enerji dengesi (Energy Balance) yöntemi ile hesaplayan enerji analiz ve termal yük simülasyon programıdır. Binanın bütün iç ve dış yüzeylerin ısı dengesi, seçilen her zaman adımında iletim, taşınım ve ışınlama ile olan ısı geçişleri, güneş enerjisinden olan kazançlar dikkate alınarak hesaplanmakta; anlık soğutma ve/veya ısıtma yükleri bulunmaktadır. Bu program, hesaplarda kullanılan binaya ve ortama ait termofiziksel özelliklerin sıcaklık ve ortam nem oranlarına göre etkileşimi ve zamanla değişimine izin verdiği için, diğer hesaplama yöntemlerinden daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

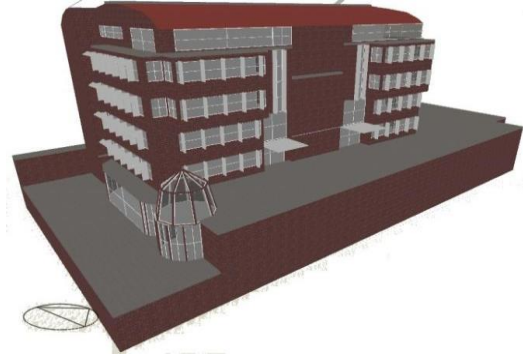
Isıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma gibi birincil enerji tüketim elemanlarının tümü EnergyPlus (Enerji Simülasyon Programı) ile bir bütün olarak analiz edilebilmektedir.

4.3.1. Simülasyon çıktıları kullanılan yüksek performanslı yeşil bina

EnergyPlus ile binanın enerji analizinin yapılabilmesi için öncelikle, DesignBuilder (v2.1) kullanılarak binanın üç boyutlu mimari modellemesi yapılmıştır. Elde edilen mimari model, Baz Binanın (Baseline) ve Tasarlanan Binanın (Proposed) enerji modellemesi ve analizinde kullanılmak üzere, EnergyPlus (v5.0)'e aktarılmıştır. Baz (baseline) binadan kastedilen; eğer tasarladığımız bina sadece doğalgazlı kazan ve elektrikli soğutma grubu kullanılarak ısıtılıp soğutulsaydı seçeneği için kullanılan tanımdır. Tasarlanan (proposed) bina ise, baz binaya göre enerji performansını karşılaştırdığımız tasarımdır. Binanın enerji simülasyonunda, baz bina ile yapılan kıyaslamalar ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007'e göre yapılmıştır. EnergyPlus, her bir zon için, tanımlanan sıcaklığa göre, gerekli olan saatlik enerjiyi (günün her saati için) hesaplar. Burada bahsedilen zonlar termal zonlardır ve uniform sıcaklıktaki havanın hacmi olarak tanımlanabilir.



Şekil 4.2. Termal modellemesi yapılan bina



Şekil 4.3. Termal modelleme görseli (Altensis,2010)

4.3.2. Simülasyon çıktıları kullanılan binanın konumu ve mekanik tesisatı

İklimsel özellikler

Binanın konumu: 40.12° Kuzey Enlemi, 32.98° Doğu Boylamı, Ankara

Dış Tasarım Sıcaklığı (soğutmada) :

Kuru Termometre 33°C, Yaş Termometre 17.6 °C

Dış Tasarım Sıcaklığı (Isıtmada) : -11.9 °C,

Hava hızı : 0.50 m/s

Rakım: 949 m

İklim Bölgesi: 4A

Binada soğutma yapılmayan gün sayısı: 109 gün

Binada ısıtma yapılmayan gün sayısı: 135 gün

Yapının mimari özellikleri

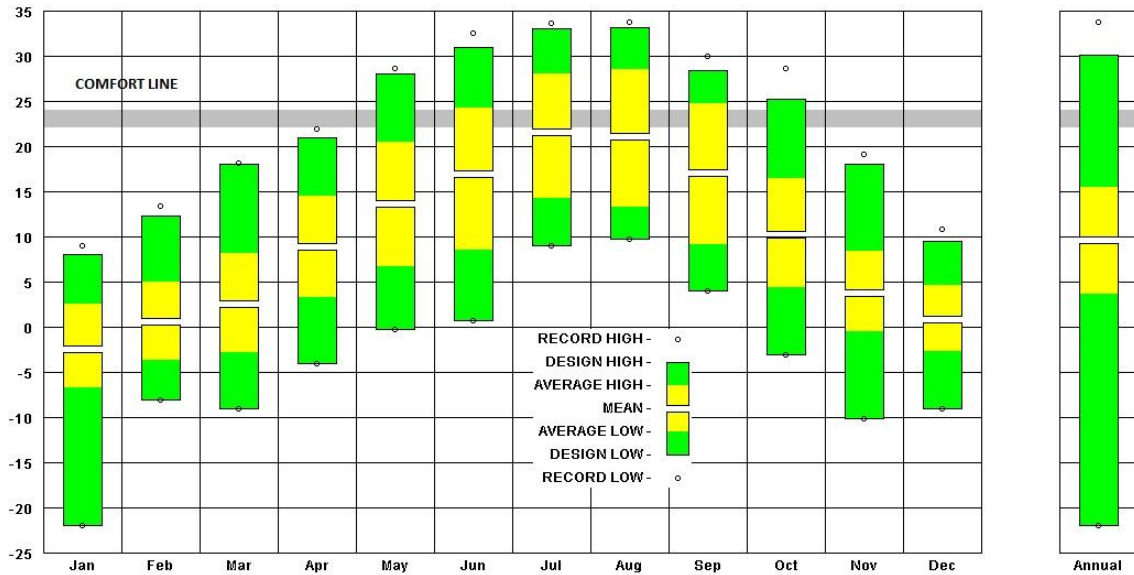
Bina dış kabuğunun yaklaşık 3,626 m²'si duvar, 865 m²'si camdır.

Cam /Duvar oranı : %23.86

İç tasarım sıcaklıkları

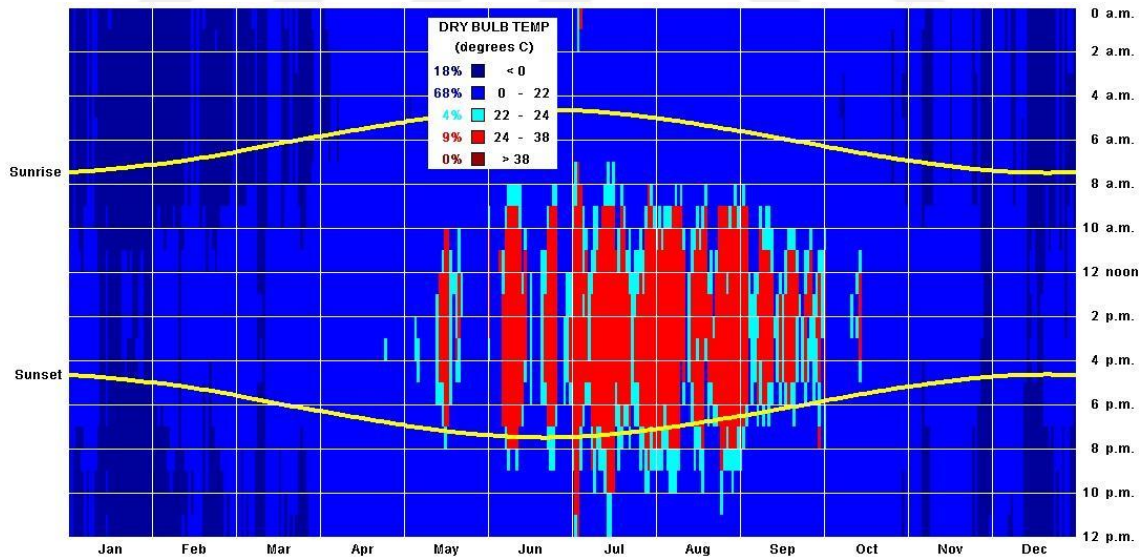
Bina iç konfor sıcaklıkları kışın 22°C, yazın 24°C alınmıştır.

Ankara için hazırlanmış olan aşağıdaki grafikte (şekil 4.4), oniki ayın günlük sıcaklık ortalamasının, iç konfor sıcaklığı olan 22 °C nin altında olduğu görülmektedir.



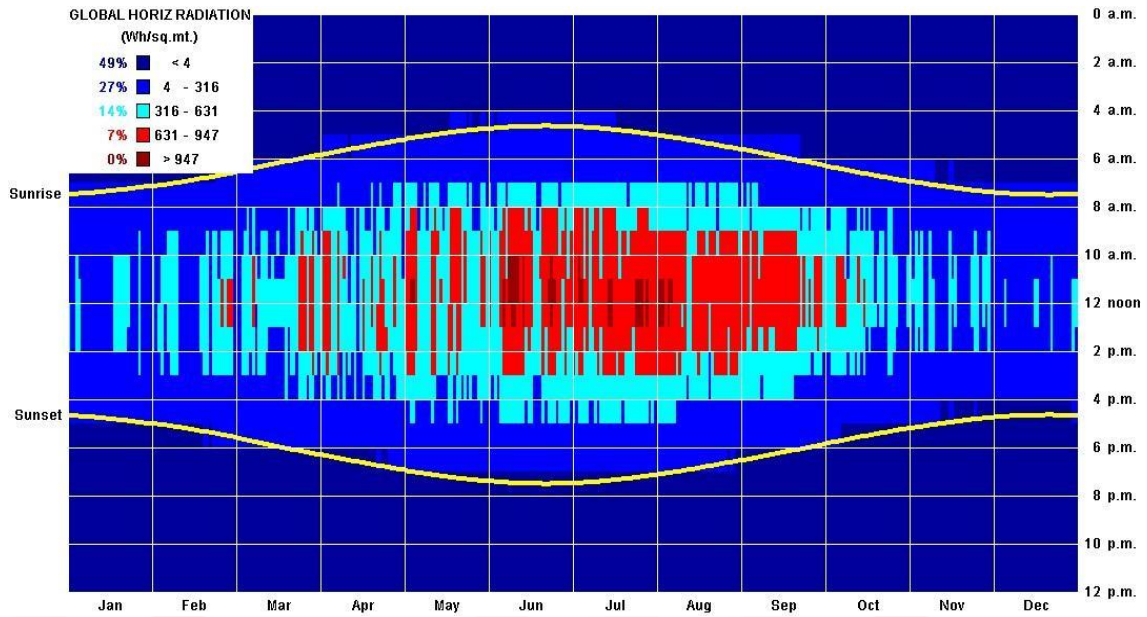
Şekil 4.4. Ankara -aylık ortalama sıcaklık değişimi (Altensis, 2010)

Günlük sıcaklık değişimlerinde ise (Şekil 4.5), yıllık zaman diliminin sadece %9'luk bölümünde konfor sıcaklığının üzerine çıkılırken, % 68'lik bölümünde kış iç konfor sıcaklığı olan 22 °C nin altında kalmaktadır.



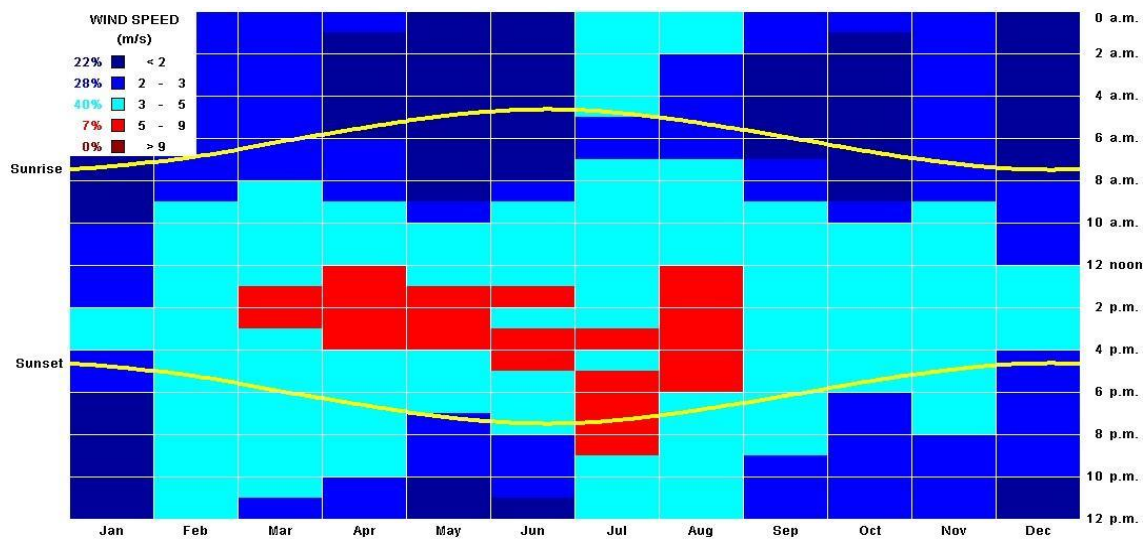
Şekil 4.5. Ankara için tahmin edilen günlük sıcaklık değişimi (Altensis, 2010)

Güneş ışınımının kullanılabilirliği ise aşağıda Şekil 4.6'da görülmektedir. Ankara için, güneş ışınımı (solar radiation) kullanılabilirliğinin yıllık zaman ortalaması %14 seviyelerinde olup, en yüksek kullanılabilir olduğu zaman dilimi sadece % 7'dir.



Şekil 4.6. Ankara- günlük güneş ışınım seviyesi (Altensis, 2010)

Rüzgâr Profili ise Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Ankara için öngörülen aylık rüzgâr profiline bakıldığında, enerji üretimi için gerekli olan rüzgâr hızının, yıllık zaman diliminin ancak %7’lik kısmında uygun olduğunu görebiliriz. %40’ lık zaman diliminde de kısmi üretim imkanı bulunmaktadır.



Şekil 4.7. Ankara - aylık rüzgâr profili (Altensis, 2010)

Yukarıdaki grafiklerde gördüğümüz dış hava koşullarındaki değişkenlikler de bize bu değişkenlikleri takip edip yakalayabilecek saatlik bazda akılcı bir işletim algoritmasına ihtiyaç olduğunu açıkça göstermektedir.

Tamamı üçyüzatmışbeş gün yirmidört saatlik verileri kapsayan EnergyPlus çıktısının yaz ve kış işletme sezonundan örnek birer güne ait yirmidört saatlik verileri aşağıda Çizelge 4.9’da ve Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelgelerde, enerji modellemesi yapılan binanın o saat için ısıtma ve soğutma yükleri ile sıcaklık, nem, rüzgâr hızı ve güneş ışınımı gibi dış hava iklim değerleri yer almaktadır.



Çizelge 4.9. EnergyPlus çıktısı (kış örnek 1 gün)

Tarih/Saat	Toplam Soğutma Yüğü (kW)	Toplam Isıtma Yüğü (kW)	Dış Hava Kuru Ter. Sıc. [C] (Saatlik)	Dış Hava Bağıl Nem [%] (Saatlik)	Rüzgar Hızı [m/s] (Saatlik)	Güneş Işınım W/m ² (Saatlik k)	Soğ. Süresi 0 to 25 %	Soğ. Süresi 25 to 50 %	Soğ. Süresi 50 to 75 %	Soğ. Süresi 75 to 100 %	Isıtma Süresi 0 to 25 %	Isıtma Süresi 25 to 50 %	Isıtma Süresi 50 to 75 %	Isıtma Süresi 75 to 100 %	Isıtma	Soğ .	Isıtma ve Soğutma yok	Hem Isıtma hem Soğutma var
01/30 24:00:00	0	205.5	-14.1	78.9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 01:00:00	0	208.3	-15.5	75.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 02:00:00	0	210.9	-16.8	76.1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 03:00:00	0	213.7	-18.2	85.9	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 04:00:00	0	216.1	-19.4	87.7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 05:00:00	0	217.1	-19.9	80.4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 06:00:00	0	219.2	-21	80.6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 07:00:00	0	220.2	-21.5	78.3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 08:00:00	0	219.5	-21.1	74	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 09:00:00	0	218.4	-20.6	74.1	0	2.6	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 10:00:00	0	212.5	-19	75	0	15.6	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 11:00:00	0	209.6	-16.8	76.6	0	11.6	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 12:00:00	0	198.6	-13.3	81.2	0	21.1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 13:00:00	0	172.2	-10	84	0.8	67.6	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 14:00:00	0	162.8	-9	84	0.7	95.5	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
01/31 15:00:00	0	162.7	-9	84	0	66.3	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
01/31 16:00:00	0	157.5	-8.5	84	0	15.5	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
01/31 17:00:00	0	150.7	-7.8	83	0	1.1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
01/31 18:00:00	0	155.2	-8.2	81.5	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
01/31 19:00:00	0	174.8	-10.2	81.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 20:00:00	0	192.6	-12	81.5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 21:00:00	0	201.8	-13	80.5	0.5	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 22:00:00	0	204.7	-13.7	79.5	0.5	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
01/31 23:00:00	0	204.1	-13.5	79	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0

Çizelge 4.10. EnergyPlus çıktısı (yaz örnek 1 gün)

Tarih/Saat	Toplam Soğutma Yüğü (kW)	Top. Isıtma Yüğü (kW)	Dış Hava Kuru Ter. Sic.[C] Saatlik	Dış Hava Bağıl Nem [%] Saatlik	Rüzgar Hızı [m/s] Saatlik	Güneş Isınımı [W/m ²] Saatlik	Soğutma Süresi 0 to 25 %	Soğutma Süresi 25 to 50 %	Soğ. Süresi 50 to 75 %	Soğ. Süresi 75 to 100 %	Isıtma Süresi 0 to 25 %	Isıtma Süresi 25 to 50 %	Isıtma Süresi 50 to 75 %	Isıtma Süresi 75 to 100 %	Isıtma	Soğ.	Isıtma ve Soğutma Yok	Hem Isıtma hem Soğutma var
08/25 24:00:00	76.3	0	21.3	33.5	0.7	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 01:00:00	49.5	0	19.6	35.1	2.1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 02:00:00	22.8	0	17.8	36.5	3.4	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 03:00:00	2.6	0	16	40.2	3.4	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 04:00:00	0	0	14.1	46.7	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
08/26 05:00:00	0	0	12.1	54.2	0.7	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
08/26 06:00:00	0	0	12.4	53.8	0	27	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
08/26 07:00:00	0	0	14.7	46.9	0	221.9	1	0	0	0	21	0	0	0	0	0	1	0
08/26 08:00:00	13.6	0	16.9	41.4	0	531	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 09:00:00	66	0	20	33.2	0.4	716.8	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 10:00:00	125.5	0	23.9	23.8	1.1	799.2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 11:00:00	174.1	0	27.7	16.9	1.8	890	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 12:00:00	198.1	0	30.3	13.5	2.8	909.7	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 13:00:00	213.5	0	31.7	12.5	4.2	908.2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 14:00:00	228.8	0	33.1	11.5	5.5	881.5	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 15:00:00	235.6	0	33.7	11	6.2	785	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 16:00:00	235.6	0	33.6	11.5	6.2	689	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 17:00:00	229.9	0	33.5	12.5	6.2	403.9	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 18:00:00	209.6	0	31.8	14.1	5.6	133.7	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 19:00:00	177.7	0	28.7	16.6	4.4	12.9	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 20:00:00	139.9	0	25.5	20.6	3.2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 21:00:00	108.2	0	23.4	24.1	2.5	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 22:00:00	90.6	0	22.3	26.1	2.3	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
08/26 23:00:00	73.2	0	21.1	28.6	2.2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0

4.4. Excel Tabanlı Optimum İşletim Algoritması

Algoritmanın test amaçlı Beta Versiyonu excel tabanında hazırlanmıştır. Excel tabanlı algoritmanın oluşturulmasında ve sanal ortamda denenmesinde Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'da birer örnek günü verilen EnergyPlus çıktısının üçyüzatmışbeş günlük verileri kullanılmıştır.

Hazırlanan tüm veri bankaları değerleri ile o saat kullanıma hazır sistem ve cihazların o saate ilişkin verim, kapasite vb. değerleri kullanılarak her bir sıra bir saate denk gelecek şekilde bir matris hazırlanmıştır. Bu matrisin sıra sayısı bir yıl yani 365 gün x 24 saat kadar tekrarlanır. Bina yükleri, EnergyPlus bina performansı yazılım paketinin çıktılarından o saat için doğrudan ithal edilmiştir. Matrisin sütun sayısı, ekonomik analiz, sistemlere ilişkin kırılımlı bilgileri, CO₂ salımı, CO₂ salım azaltımı gibi bilgiler için yeterli sayıda artırılmıştır.

Çizelge 4.11, 4.12, 4.13.'de algoritmanın kış işletmesi 1 gün x 24 saat, Çizelge 4.14, 4.15, 4.16.'da ise yaz işletmesi 1 gün x 24 saat örneklenmiştir.

Bina benzetim (simülasyon) teknikleri kullanılarak oluşturulan saatlik yüklere göre 'Akılcı Ekserji Verimi' en yüksek olacak şekilde mekanik sistem bileşenlerinin kapasite, tip ve sayılarının etkileşimli-iterasyon yolu ile eniyilemesi yapılmıştır. Algoritmanın mevcut bir binaya uygulanmasında ise yazılan program ile bir donanım üzerinden binanın ve binanın bulunduğu ortamın değerleri haberleşme protokolleri ile alınarak, ihtiyaçlara göre ısıtma, soğutma ve havalandırma unsurlarının en uygun şekilde çalışma durumları ve sıraları belirlenerek yine aynı protokoller üzerinden cihazların çalışmaları sağlanmıştır. Bu işlem belirli aralıklarla tekrarlanarak değişen ortam ve bina ihtiyaç durumlarına göre sistemin dinamik temeldeki eniyilemesi yapılmıştır.

Beta versiyonunda gerekli düzeltmeler ve algoritma testleri tamamlandıktan sonra, hazırlanan Excel tabanlı algoritma baz alınarak programın C Sharp dilinde yazılımı yapılmıştır.

Çizelge 4.11. Standart energyPlus çıktısı kullanılarak oluşturulan excel tabanlı optimum işletim algoritması (VO) kış örnek gün, ana veri ekranı - 1

Tarih/Zaman	Dış Hava Kuru Terometre Sıcaklığı °C	Dış Hava Çiğ Noktası °C	Dış Hava Bağıl Nem [%] (Saatlik)	Atm. Basıncı kPa	Direkt Işınım Değeri W/m ²	Rüz. Hızı m/s	Rüzgar Yönü °	Güneş Yükselme Açısı °	Güneş Azimut Açısı°	Toplam Soğutma kapasitesi (kW)	Toplam Isıtma kapas. (kW)	Yüksek Sıcaklık Su (m ³)	Düşük Sıcaklık Su (m ³)	Toplam Elektrik Yüğü (kW)	Toplam Buhar Isıtma Yüğü (kWh)
01/30 24:00	-14.1	-18.0	78.9	90.2	0.0	0.0	0	-67.68	351.85	0.00	205.50	0.00	2.57	21.0	0.0
01/31 01:00	-15.5	-19.0	75.5	90.2	0.0	0.0	0	-65.41	27.68	0.00	208.30	0.00	2.28	11.5	0.0
01/31 02:00	-16.8	-20.4	76.1	90.2	0.0	0.0	0	-57.86	53.59	0.00	210.90	0.00	2.28	11.5	0.0
01/31 03:00	-18.2	-19.4	85.9	90.2	0.0	0.0	0	-47.72	70.40	0.00	213.70	0.00	2.87	11.5	0.0
01/31 04:00	-19.4	-22.0	87.7	90.3	0.0	0.0	0	-36.58	82.54	0.00	216.10	0.00	2.29	11.5	0.0
01/31 05:00	-19.9	-22.2	80.4	90.3	0.0	0.0	0	-25.13	92.53	0.00	217.10	0.00	2.12	11.5	0.0
01/31 06:00	-21.0	-24.0	80.6	90.4	0.0	0.0	0	-13.76	101.72	0.00	219.20	0.00	2.89	11.5	0.0
01/31 07:00	-21.5	-24.0	78.3	90.4	0.0	0.0	0	-2.76	110.95	0.00	220.20	11.53	2.30	16.0	0.0
01/31 08:00	-21.1	-24.4	74.0	90.5	0.0	0.0	0	7.55	120.86	0.00	219.50	11.53	2.70	14.0	0.0
01/31 09:00	-20.6	-23.0	74.1	90.5	2.6	0.0	0	16.78	132.03	0.00	218.40	11.53	2.83	39.0	0.0
01/31 10:00	-19.0	-21.0	75.0	90.5	15.6	0.0	0	24.38	144.96	0.00	212.50	11.55	2.94	49.6	0.0
01/31 11:00	-16.8	-18.4	76.6	90.6	11.6	0.0	0	29.71	159.86	0.00	209.60	11.65	2.43	48.0	0.0
01/31 12:00	-13.3	-13.0	81.2	90.5	21.1	0.0	0	32.09	176.30	0.00	198.60	11.65	1.54	47.5	0.0
01/31 13:00	-10.0	-11.0	84.0	90.5	67.6	0.8	120	31.15	193.05	0.00	172.20	10.00	2.54	47.5	0.0
01/31 14:00	-9.0	-10.9	84.0	90.5	95.5	0.7	0	27.05	208.73	0.00	162.80	10.00	3.19	44.6	0.0
01/31 15:00	-9.0	-11.0	84.0	90.6	66.3	0.0	0	20.35	222.53	0.00	162.70	11.63	1.55	43.2	0.0
01/31 16:00	-8.5	-10.0	84.0	90.6	15.5	0.0	0	11.76	234.42	0.00	157.50	11.58	1.54	40.0	0.0
01/31 17:00	-7.8	-9.8	83.0	90.7	1.1	0.0	0	1.87	244.82	0.00	150.70	0.00	3.21	41.0	0.0
01/31 18:00	-8.2	-11.1	81.5	90.7	0.0	0.0	0	-8.87	254.27	0.00	155.20	0.00	2.26	42.0	0.0
01/31 19:00	-10.2	-13.6	81.5	90.8	0.0	0.0	0	-20.11	263.39	0.00	174.80	0.00	2.25	27.0	0.0
01/31 20:00	-12.0	-14.7	81.5	90.9	0.0	0.0	0	-31.56	272.91	0.00	192.60	0.00	5.24	13.0	0.0
01/31 21:00	-13.0	-15.9	80.5	90.9	0.0	0.5	30	-42.90	283.88	0.00	201.80	0.00	2.87	12.0	0.0
01/31 22:00	-13.7	-16.4	79.5	91.0	0.0	0.5	0	-53.60	298.21	0.00	204.70	0.00	2.29	12.0	0.0
01/31 23:00	-13.5	-15.7	79.0	91.0	0.0	0.0	0	-62.58	319.51	0.00	204.10	0.00	2.57	18.0	0.0

Çizelge 4.12. Standart energyPlus çıktısı kullanılarak oluşturulan excel tabanlı optimum işletim algoritması (V0) kış örnek gün, ana veri ekranı - 2

Tarih/Zaman	Elektrik Birim Fiyatı 1 TL/kWh	Elektrik Birim Fiyatı 2 TL/kWh	Elektrik Birim Fiyatı 3 TL/kWh	Doğalgaz Birim TL/kWh	Düşük Sic. Deposu kWh	Yüksek Sic. Deposu kWh	Soğuk Su Deposu kWh	Buz Deposu kWh	Buhar Deposu kWh	(BIG) kWh	Isı Pompası kWh	ABS kWh	Ads. ile Soğutma Makinesi kWh	Doğal gazlı Isı Kazanı kWh
01/30 24:00	0.157	00.0	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 01:00	0.157	00.0	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 02:00	0.157	00.0	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 03:00	0.157	00.0	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 04:00	0.157	00.0	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 05:00	00.0	0.267	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 06:00	00.0	0.267	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 07:00	00.0	0.267	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 08:00	00.0	0.267	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 09:00	00.0	0.267	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 10:00	00.0	0.267	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 11:00	00.0	0.267	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 12:00	00.0	0.267	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 13:00	00.0	0.267	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 14:00	00.0	0.267	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 15:00	00.0	0.267	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 16:00	00.0	0.267	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 17:00	00.0	00.0	0.421	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 18:00	00.0	00.0	0.421	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 19:00	00.0	00.0	0.421	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 20:00	00.0	00.0	0.421	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 21:00	0.157	00.0	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 22:00	0.157	00.0	00.0	0.085	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01/31 23:00	00.0	00.0	00.0	0.000	0.0	0.000	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Çizelge 4.14. Standart energyPlus çıktısı kullanılarak oluşturulan excel tabanlı optimum işletim (V0) yaz örnek gün, ana veri ekranı – 1

Tarih/Saat	Dış Hava Kuru Term. Sıcaklığı °C	Dış Hava Çiğ Noktası °C	Dış Hava Bağıl Nem [%] (Saatlik)	Atm. Basıncı <i>kPa</i>	Direkt Işınım Değeri <i>W/m²</i>	Rüzgar Hızı m/s	Rüzgar Yönü °	Güneş Yük. Açısı °	Güneş Azimuth Açısı °	Toplam Soğutma Kapa. (<i>kW</i>)	Toplam Isıtma Kap. (<i>kW</i>)	Yüksek Sıcaklık Su (<i>m³</i>)	Düşük Sıcaklık Su (<i>m³</i>)	Toplam Elektrik Yükü (<i>kW</i>)	Toplam Buhar Isıtma Yükü (<i>kWh</i>)
08/25 24:00	21.3	4.1	33.5	90.1	00.0	0.7	0	-38.59	359.29	76.30	0.00	0.00	0.00	6.0	0.0
08/26 01:00	19.6	3.2	35.1	90.1	00.0	2.1	0	-37.19	17.98	49.50	0.00	0.00	0.00	5.6	0.0
08/26 02:00	17.8	2.2	36.5	90.1	00.0	3.4	10	-32.08	34.80	22.80	0.00	0.00	0.00	5.6	0.0
08/26 03:00	16.0	2.5	40.2	90.1	00.0	3.4	10	-24.40	49.09	2.60	0.00	0.00	0.00	7.5	0.0
08/26 04:00	14.1	2.9	46.7	90.1	00.0	2.0	10	-14.99	61.14	0.00	0.00	0.00	0.00	6.9	0.0
08/26 05:00	12.1	3.2	54.2	90.1	00.0	0.7	0	-4.48	71.63	0.00	0.00	0.00	0.00	6.3	0.0
08/26 06:00	12.4	3.4	53.8	90.1	27.0	0.0	0	6.66	81.28	0.00	0.00	0.00	0.00	6.9	0.0
08/26 07:00	14.7	3.5	46.9	90.1	221.9	0.0	0	18.09	90.80	0.00	0.00	0.00	0.00	11.0	0.0
08/26 08:00	16.9	3.7	41.4	90.1	531.0	0.0	0	29.48	101.02	13.60	0.00	0.00	0.00	23.0	0.0
08/26 09:00	20.0	2.3	33.2	90.1	716.8	0.4	0	40.44	113.08	66.00	0.00	0.00	0.00	315.0	0.0
08/26 10:00	23.9	0.8	23.8	90.0	799.2	1.1	0	50.29	128.76	125.50	0.00	0.00	0.00	32.0	0.0
08/26 11:00	27.7	-0.7	16.9	90.0	890.0	1.8	200	57.76	150.55	174.10	0.00	0.00	0.00	33.0	0.0
08/26 12:00	30.3	-0.9	13.5	89.9	909.7	2.8	200	60.82	179.01	198.10	0.00	0.00	0.00	27.0	0.0
08/26 13:00	31.7	-1.1	12.5	89.9	908.2	4.2	200	58.12	207.76	213.50	0.00	0.00	0.00	26.0	0.0
08/26 14:00	33.1	-1.0	11.5	89.9	881.5	5.5	40	50.87	230.03	228.80	0.00	0.00	0.00	29.0	0.0
08/26 15:00	33.7	-0.5	11.0	89.9	785.0	6.2	40	41.13	246.03	235.60	0.00	0.00	0.00	32.0	0.0
08/26 16:00	33.6	0.2	11.5	89.9	689.0	6.2	40	30.22	258.26	235.60	0.00	0.00	0.00	32.0	0.0
08/26 17:00	33.5	0.8	12.5	89.9	403.9	6.2	10	18.84	268.56	229.90	0.00	0.00	0.00	49.0	0.0
08/26 18:00	31.8	1.0	14.1	89.9	133.7	5.6	10	7.40	278.10	209.60	0.00	0.00	0.00	32.0	0.0
08/26 19:00	28.7	1.2	16.6	90.0	12.9	4.4	10	-3.77	287.72	177.70	0.00	0.00	0.00	7.5	0.0
08/26 20:00	25.5	1.4	20.6	90.1	00.0	3.2	110	-14.33	298.13	139.90	0.00	0.00	0.00	6.0	0.0
08/26 21:00	23.4	1.8	24.1	90.1	00.0	2.5	110	-23.83	310.06	108.20	0.00	0.00	0.00	6.0	0.0
08/26 22:00	22.3	2.1	26.1	90.1	00.0	2.3	110	-31.64	324.19	90.60	0.00	0.00	0.00	6.0	0.0
08/26 23:00	21.1	2.5	28.6	90.2	00.0	2.2	40	-36.95	340.84	73.20	0.00	0.00	0.00	6.0	0.0

Çizelge 4.16. Standart energyPlus çıktısı kullanılarak oluşturulan excel tabanlı optimum işletim algoritması (V0) yaz örnek 1 gün, kapasiteler - 3

Tarih/Zaman	PV Modül (kW)	Düzlemsel Güneş Toplacı (kW)	Odaklayıcı Güneş Toplacı (kW)	PVT (kW)	PVTC (kW)	Rüzgar Türbini (kW)	Biyogaz Reaktörü (kW)	Rüzgar Türbini (kW)	Soğutma Grubu (kW)	Boylar (kW)	Buhar Jeneratörü (kW)	Mekanik Enerji Deposu (kW)	Elektrik Enerji Deposu (kW)	Soğ. Kulesi (kW)	Hidrolik Enerji Deposu (kW)	Havalı Soğ. (kW)	TEG (kW)	Tromb Duvarı (kW)
08/25 24:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 01:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 02:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 03:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 04:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 05:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 06:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 07:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 08:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 09:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 10:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 11:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 12:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 13:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 14:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 15:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 16:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 17:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 18:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 19:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 20:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 21:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 22:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00
08/26 23:00	00.0	00.0	00.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	00.0	00.0	0.00	0.00

4.5. İşletim Senaryoları

Başlangıçta algoritmanın takip edeceği üç ayrı işletim senaryosu öngörülmüş olup bu senaryolar değerlendirilerek ekserji tabanlı yeni bir işletim senaryosu oluşturulmuş, programlanmış ve denenmiştir. Kullanılan cihaz ve sistemlere göre kullanıcı talepleri doğrultusunda farklı senaryolar oluşturmak mümkündür.

Bu çalışmada oluşturulan işletim senaryosunda daha çok Referans senaryo-1 baz alınmıştır. Şekil 4.18'deki akış diyagramında görüleceği üzere, BIG (Birleşik Isı ve Güç Sistemi) elektrik yükü takip öncelikli bir işletim mantığı kurulmuştur (Katipamula ve Brambley,2006).

Öngörülen referans işletim senaryoları aşağıda özetlenmiştir.

4.5.1. Referans senaryo - 1

Senaryodaki sistemlerin işletim öncelikleri ve işletim karar mekanizmaları Çizelge 4.17'de özetlenmiştir. Bu çizelge içerisinde binada mevcut sistemler kullanılacak, olmayanlar göz ardı edilecektir. Senaryoda tek referans kapasitesi BIG için, % 50 pik elektrik yükü (yıllık tabanda) belirlenmiştir.

Çizelge 4.17. Referans senaryo -1, işletim öncelikleri ve karar süreci

Öncelik	Sistem/Cihaz	Karar Verme Süreci
1	Elektrik Enerji Deposu (Akü, Flow Battery vb)	Elektrik yükü var mı? Elektrik enerji deposunda %20' den fazla kapasite var mı? Evet ise kullan.
2	Yüksek Ekserji Sıcak Su Deposu	Isıtma yükü var mı? Depoda %20' den fazla enerji var mı? Cevaplar evet ise kullan.
3	Birleşik Isı ve Güç Sistemi (BIG). Referans Kapasite en fazla (pik) elektrik yükünün %50' si	Elektrik ve ısı (Soğutma ve/veya buhar) yükü eş zamanlı olarak var mı? Evet ise Elektrik /ısı yükü oranını hesapla. Bu oran BIG sisteminin c oranına ne kadar uygun? (katalog değerinin +/- %20 kadarsa devam) Farkı hesapla. Fazla elektrik satılabilir mi? Fazla ısı depolanabilir mi? Evet ise BIG çalıştır. Kapasiteyi en fazla yük değerine göre seç. Seçilen kapasiteye göre verim vs. hesapla. Isı çıktılarını soğutma, ısıtma, sıcak su önceliklerinde kullan. Elektrik eksik kalıyorsa şebekeden al. Elektrik üretimi fazla ve ısıtma/soğutma yükleri henüz karşılanmamış ise ısı pompasını kullan. Hala fazlalık varsa ve binada elektrik depolama UPS vs. varsa kullan, arta kalanını sat ya da şebekeye geri besle.
4	Isı Pompası	Isı ve/veya soğuk depoları boş, BIG çalışıyor ve hala ısıtma soğutma yükleri var ise çalıştır. O anda PV, PVT, PVTC güç üretiyor ise elektriği onlardan al. Yetmiyorsa ve çalışıyor ise BIG' den al. Yetmezse şebekeden al.
5	ABS	Soğutma yükü varsa BIG ısısını kullan (BIG çalışıyor ise). Isı deposunda sıcaklık 70°C üzerinde ise depoyu kullan. Buz tankı ve soğuk su tankında soğuk varsa kullan. ABS'nin fazla soğuk çıktısı var ve depoda da talep varsa yükle.
6	Adsorbsiyon ile Soğutma Makinesi	Soğuk yükü hala varsa adsorbsiyonlu sistemin ardına bağlı olarak bu cihazı kullan.
7	Isı Kazanı	Isı yükü yenilenebilir sistemlerle tamamen karşılamadığı durumlarda ısı kazanımını çalıştır.
8	PV Modül	O saat içerisinde ışınım varsa 1. sırada kullan.
9	Düzlemsel Güneş Toplacı	O saat içerisinde ışınım varsa 2. sırada kullan.
10	Odaklayıcı Güneş Toplacı	O saat içersinde ışınım varsa 2 inci sırada kullan
11	PVT (Photo-Voltaic Thermal)	O saat içerisinde ışınım varsa ve hem elektrik hem ısı yükü varsa 1. sırada kullan. Fazla ısı varsa ısı depolarını yükle.
12	PVTC (Photo-Voltaic Thermal and Cooling)	O saat içerisinde ışınım varsa ve hem elektrik hem ısı ve soğuk yükü varsa 1. sırada kullan. Fazla ısı soğuk varsa depoları yükle.
13	PHVT (Photo-Heat Voltaic and Thermal)	O saat içersinde ışınım varsa 1. sırada kullan.
14	Rüzgâr Türbini	Rüzgâr hızı yeterli ise 1. sırada en öncelikli olarak PV ve PVT gözelerle paralel kullan.
15	Düşük Ekserji Sıcak Su Deposu	Depoda enerji varsa en önce depoları kullan.
16	Soğuk Su Deposu	Depoda enerji varsa en önce bu depoları kullan.
17	Isı Deposu (Çakıl taşı havuzu, Labirent vb)	Enerji varsa en önce bu sistemi kullan.
18	Buz Tankı	Soğuk su deposu %20 kapasitenin altında ise ve soğutma yükü mevcutsa bu depoyu kullan.
19	Soğutma Grubu (Chiller)	Soğutma yükleri sürdürülebilir sistemlerle karşılanamamış ise bu sistemleri devreye al. Sürdürülebilir enerji kaynaklarında üretilen elektrik varsa önce bu sistem çıktılarını kullan. Yetermezse şebekeden karşıla.
20	Boylar	Sıcak su talebi varsa boyları kullan.
21	Buhar Jeneratörü	Buhar talebi hala varsa buhar jeneratörünü kullan.

4.5.2. Referans senaryo - 2

Bu senaryoda, sistemlerin işletim öncelikleri ve işletim karar mekanizmaları Çizelge 4.18’de verilmiştir. Binada mevcut sistemler kullanılacak, olmayanlar göz ardı edilecektir. Senaryoda öncelik (varsa) ısı pompasıdır ve tasarım kapasite değeri en fazla (yıllık tabanda) ısı yükünün % 70’i veya en fazla soğutma yükünün (yıllık tabanda) %60’ıdır. Kapasite bu değerlerden en fazlası için seçilir. Diğer sistemlerin öncelikleri Çizelge 4.17’deki gibidir.

Çizelge 4.18. Referans senaryo - 2, işletim öncelikleri ve karar süreci

Öncelik	Sistem/Cihaz	Karar Verme Süreci
1	Isı Pompası referans kapasite: En fazla toplam ısı yükünün % 70’i	Depoda ısı mevcut değilse çalışır. Varsa elektriğini sürdürülebilir sistemlerden sağlar.
2	Birleşik Isı ve Güç Sistemi (BIG)	
3	ABS	
4	Adsorbsiyon ile Soğutma Makinesi	
5	Isı Kazanı	
6	PV Modül	
7	Düzlemsel Güneş Toplacı	
8	Odaklayıcı Güneş Toplacı	
9	PVT (Photo-Voltaic Thermal)	
10	PVTC (Photo-Voltaic Th. and Cool.	
11	PHVT (Photo-Heat Voltaic and Thermal)	
12	Biyogaz Reaktörü	
13	Rüzgâr Türbini	
14	Sıcak Su Deposu	
15	Soğuk Su Deposu	
16	Isı Deposu (Çakıl taşı havuzu, Labirent vb)	
17	Buz Tankı	
18	Soğutma Grubu (Chiller)	
19	Boylar	
20	Buhar Jeneratörü	
21	Elektrik Enerji Deposu (Akü, Batarya vb)	

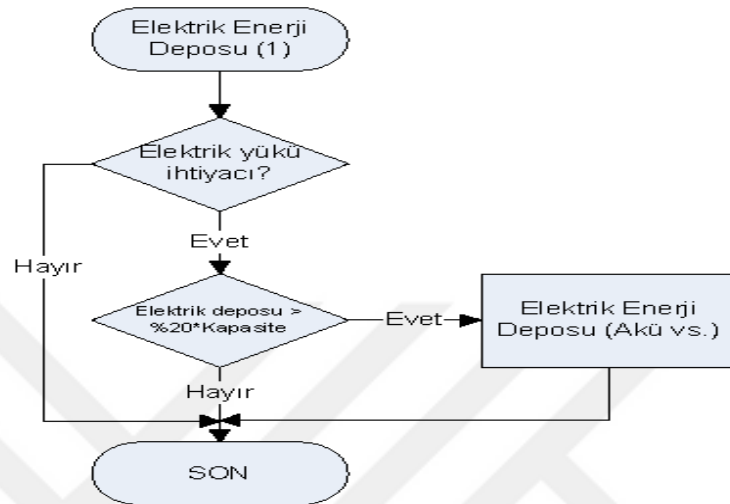
4.5.3. Referans senaryo - 3

Bu senaryonun işletim öncelikleri ve karar mekanizmaları Senaryo-1 ile aynı olup, tek fark varsa BIG sistem kapasitesi en fazla elektrik yükünün % 75’i alınır. BIG yoksa ancak ısı pompası varsa Senaryo- 2 geçerlidir ve ısı pompası kapasitesi en fazla ısı yükünün % 80’i alınır. Isı pompası da yoksa diğer sürdürülebilir sistemlerin toplam elektrik üretim kapasitesi (yıllık ışınlım ve rüzgâr hız ortalamalarına göre) % 25’i alınır.

4.6. Tasarımda Kullanılan Sistem ve Cihazların Karar Süreci Akış Şemaları

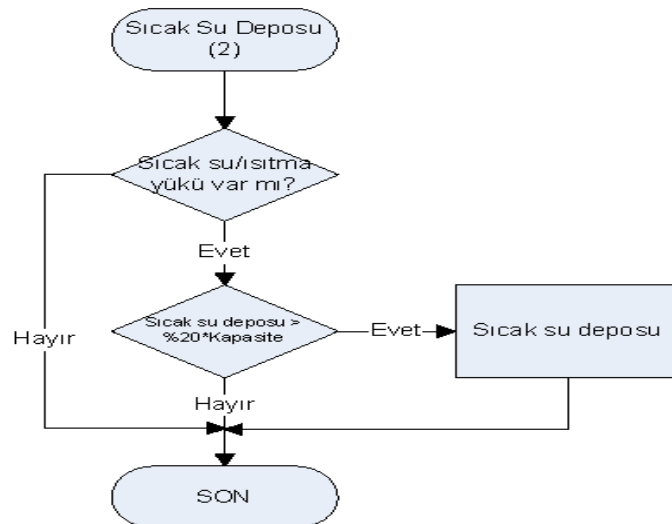
Sistem ve cihazların karar verme sürecine ait akış şemaları aşağıda verilmiştir.

4.6.1. Elektrik deposu karar şeması



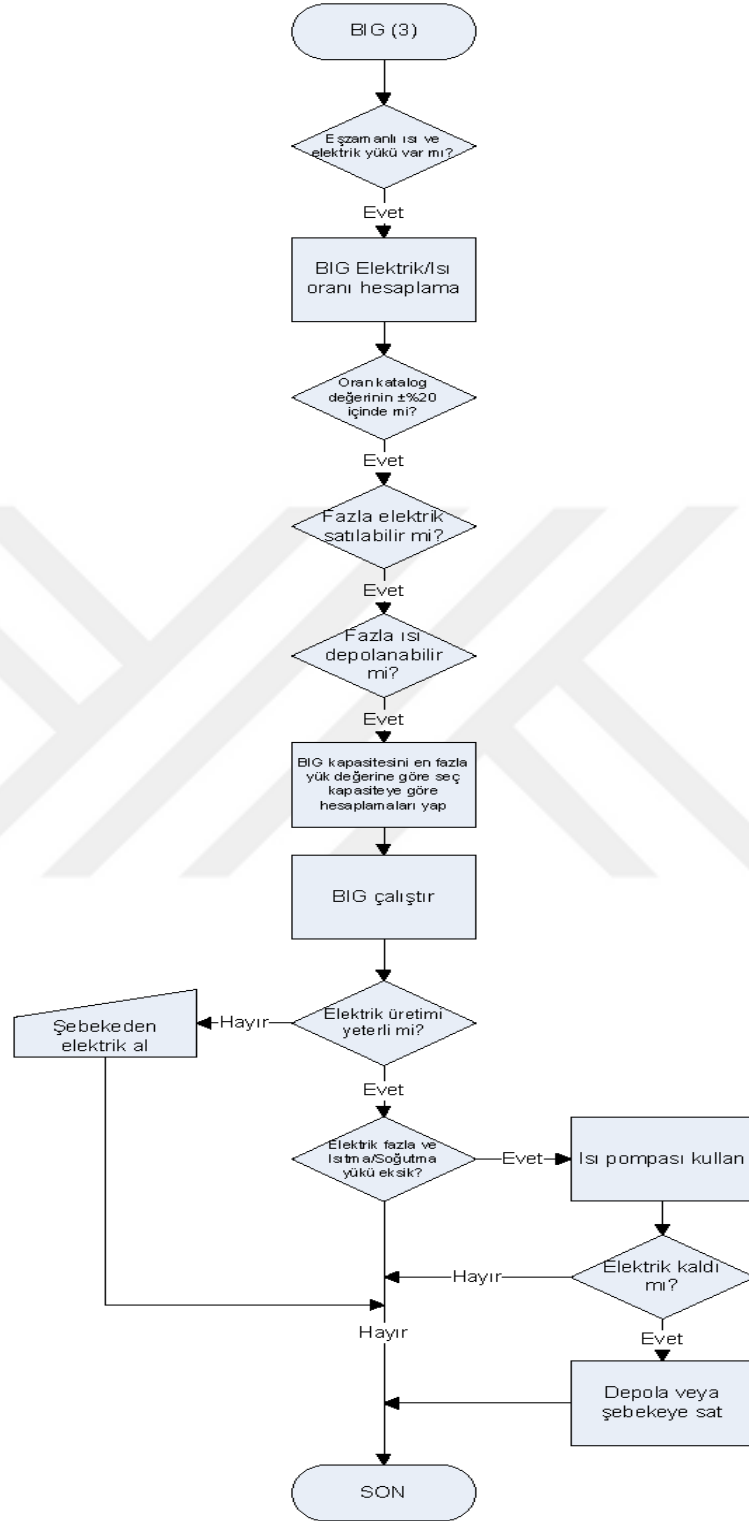
Şekil 4.8. Elektrik enerji deposu karar verme süreci örnek akış şeması

4.6.2. Sıcak su deposu karar şeması



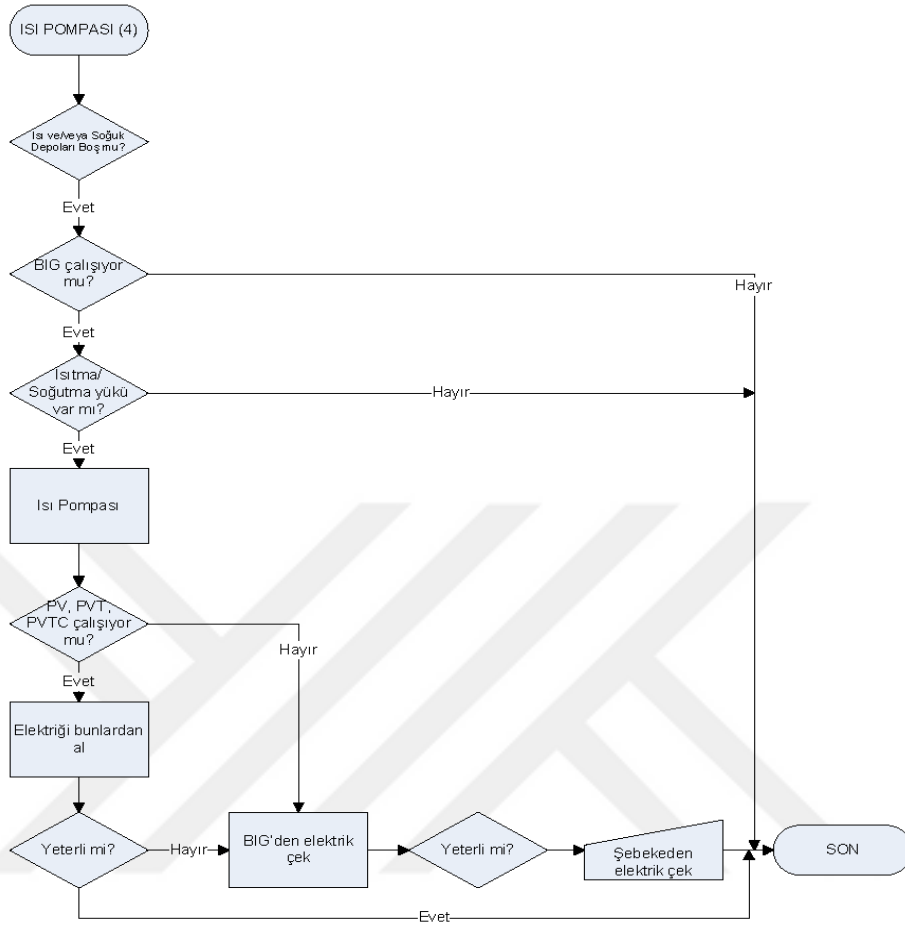
Şekil 4.9. Sıcak su deposu karar verme süreci örnek akış şeması

4.6.3. Sıcak su deposu karar şeması



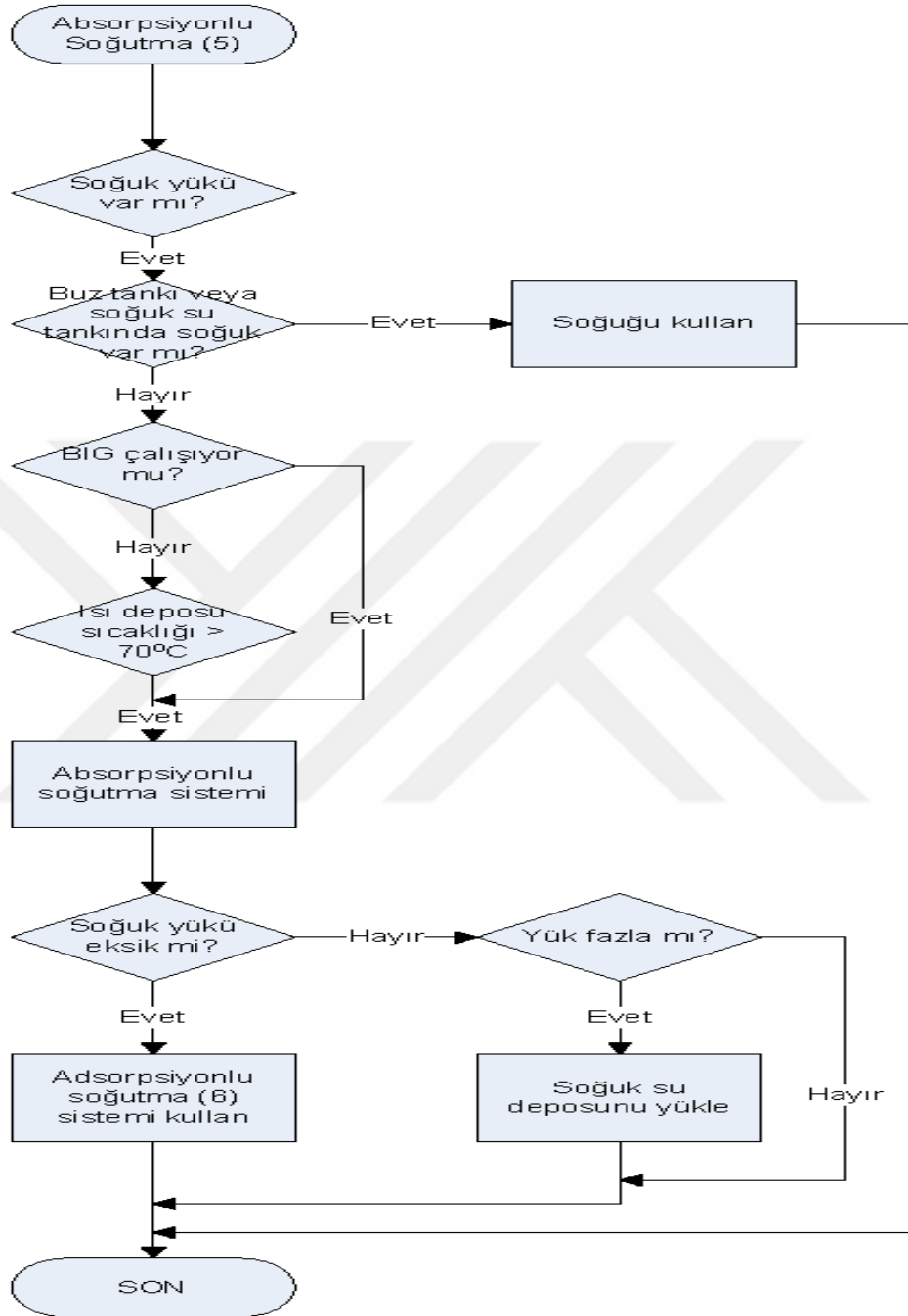
Şekil 4.10. Birleşik ısı ve güç sistemi (BIG) örnek karar süreci örnek akış şeması

4.6.4. Toprak kaynaklı ısı pompası karar şeması



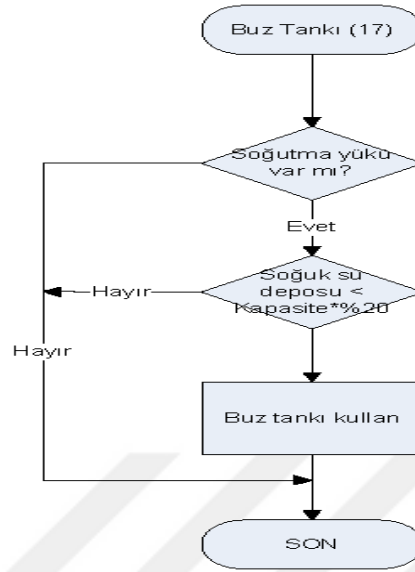
Şekil 4.11. Toprak kaynaklı ısı pompası (IP) karar verme süreci örnek akış şeması

4.6.5. ABS karar şeması



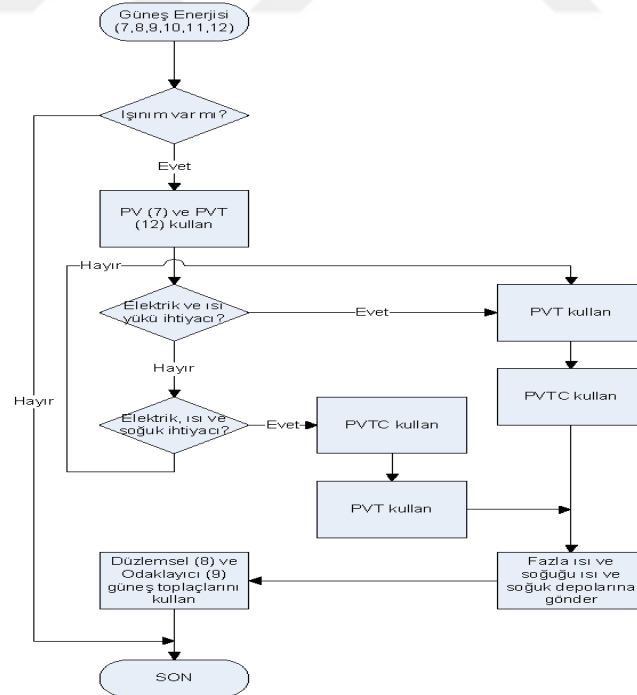
Şekil 4.12. ABS, karar verme süreci örnek akış şeması

4.6.6. Buz tankı karar şeması



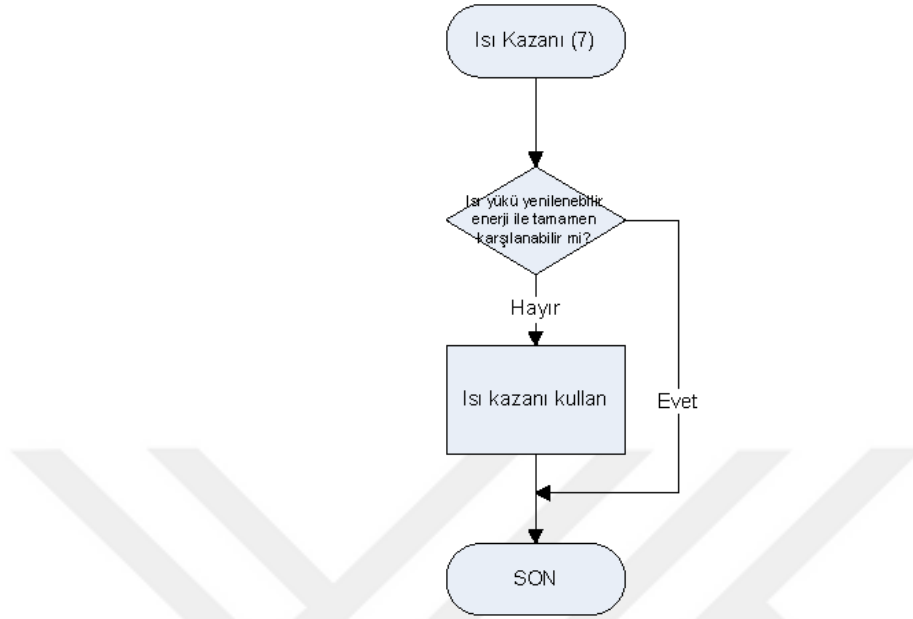
Şekil 4.13. Buz tankı (TSU), karar verme süreci örnek akış şeması

4.6.7. Güneş enerjisi karar şeması



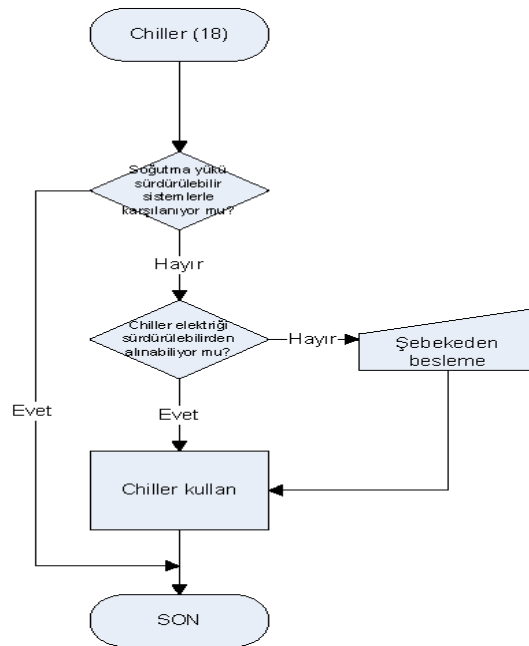
Şekil 4.14. Güneş enerjisi, karar verme süreci örnek akış şeması

4.6.8. Isı kazanı karar şeması



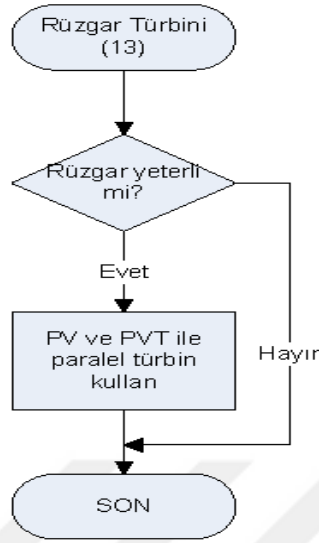
Şekil 4.15. Isı kazanı, karar verme süreci örnek akış şeması

4.6.9. Elektrikli soğutma grubu karar şeması



Şekil 4.16. Elektrikli soğutma grubu, karar verme süreci örnek akış şeması

4.6.10. Rüzgar türbini karar şeması

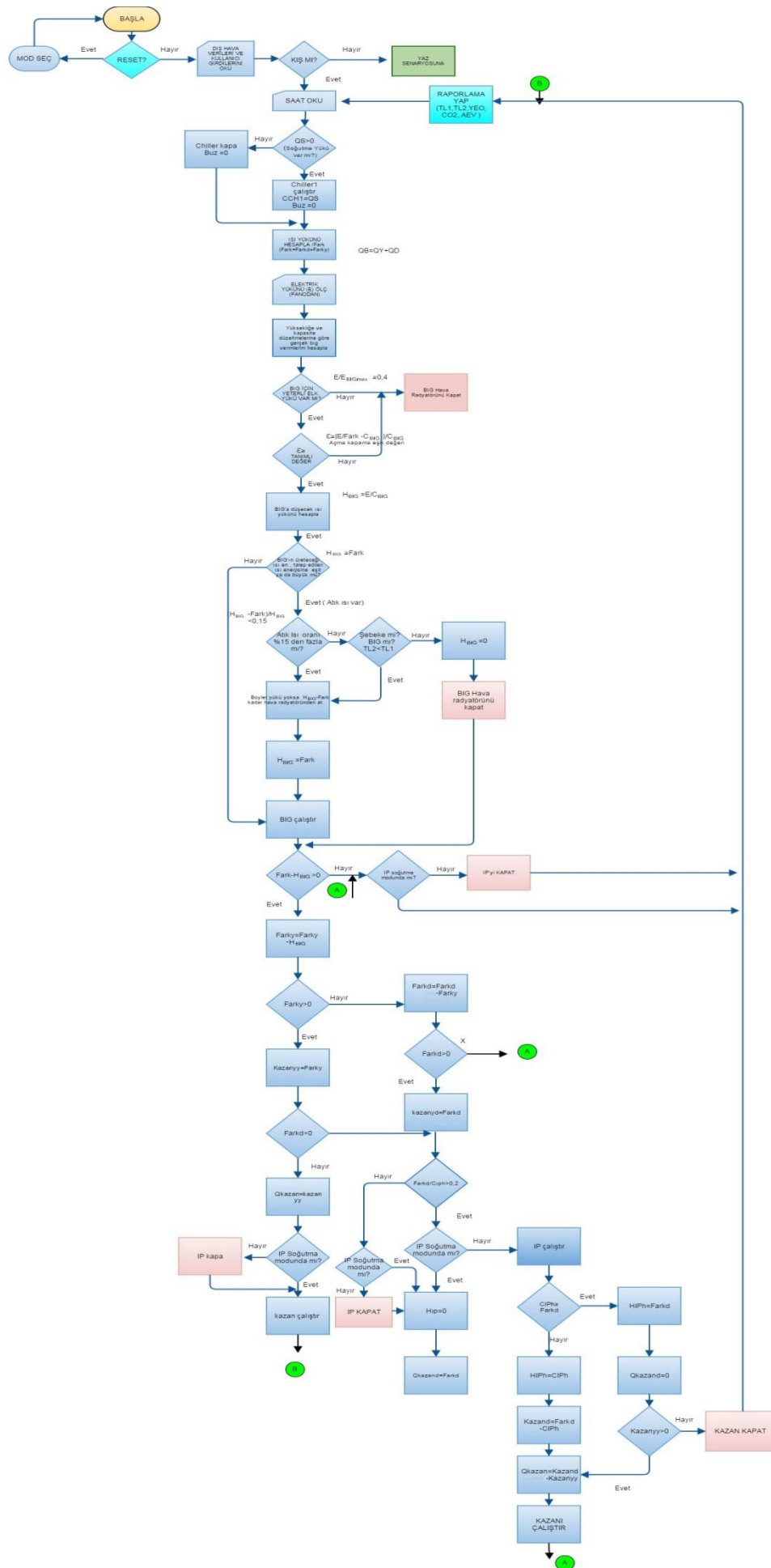


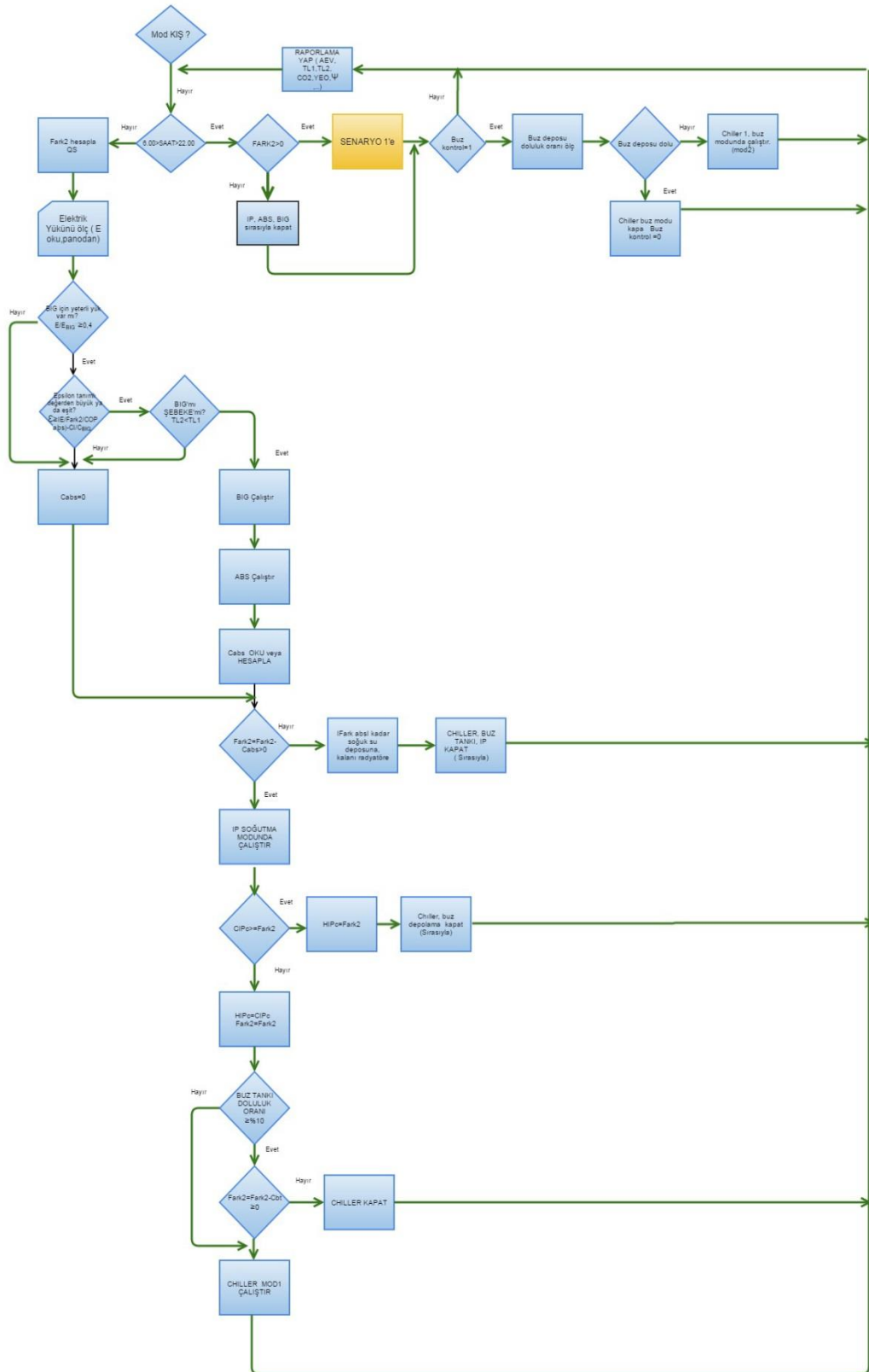
Şekil 4.17. Rüzgar türbini, karar verme süreci örnek akış şeması

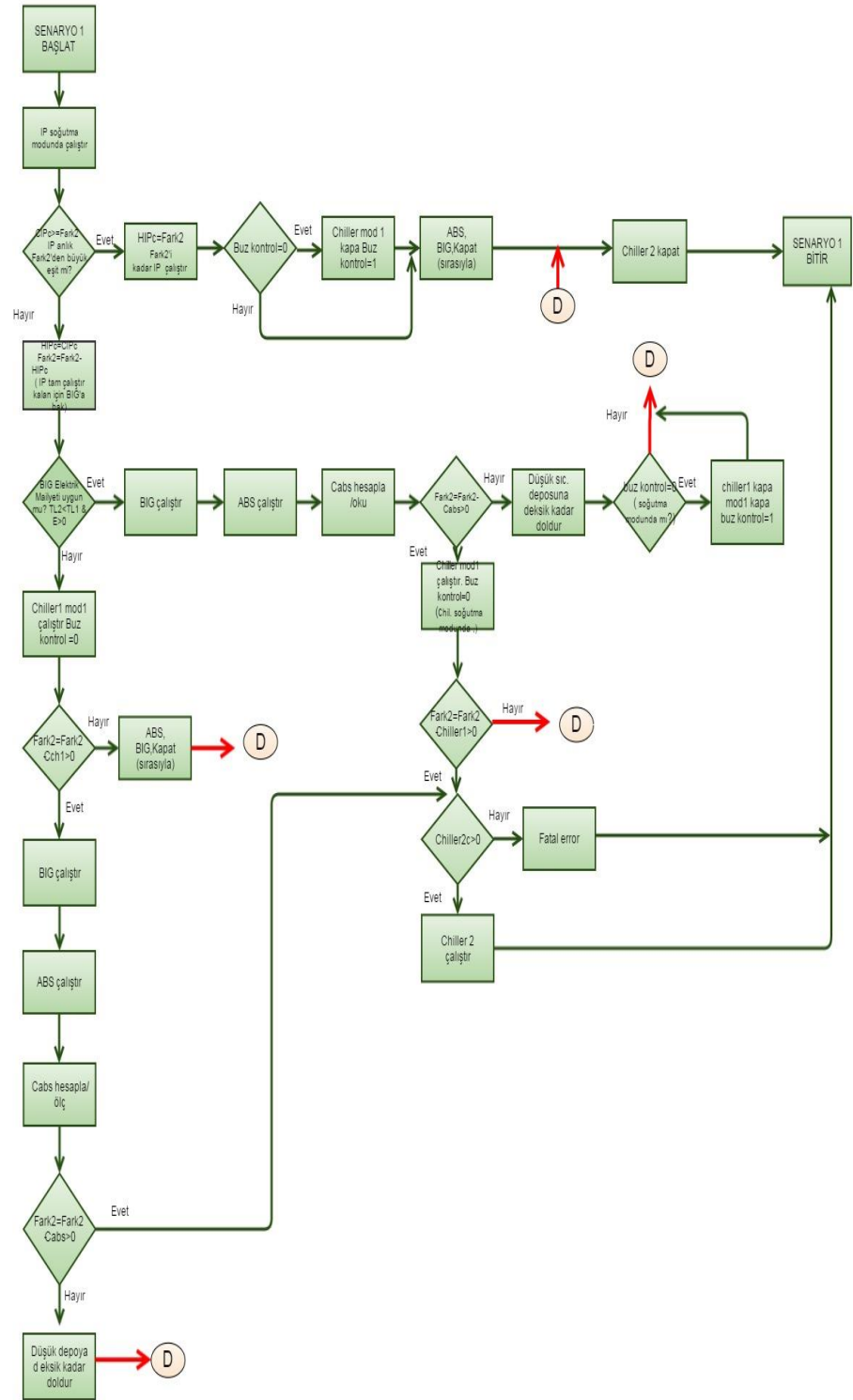
4.7. Akış Diyagramı

Geliştirilen excel tabanlı optimum işletim algoritmasının C Sharp dilinde yazılıma dönüştürülmesi için hazırlanmış olan akış diyagramı şekil 4.18'de verilmiştir.

Daha çok referans senaryo-1 baz alınarak oluşturulan işletim senaryosu, öncelikle alışılmış algoritma ile yeni geliştirilen excel tabanlı algoritma arasında arz ve talep dengesini sağlamaya yönelik olarak konulan arayüz depolarının, istenen dolulukta tutulması için BIG'in atık ısısına ihtiyaç olup olmadığını sorgulamaktadır. Atık ısı talebi olması halinde, binanın elektrik gücü talebi sorgulanmakta, eğer bu talep o saatte BIG'in üreteceği elektrik, BIG elektrik üretim kapasitesinin belli bir yüzdesinin üzerinde ise gerekli performans hesaplarını yaparak BIG'in devreye girip girmeyeceğine karar vermektedir. Bina yük taleplerinin yanında yaz ve kış modu, gündüz, gece ve puant saatleri, o saatteki dış ortam koşulları ile oluşturulan model çerçevesinde senaryo detaylandırılmış olup, C Sharp yazılımından örnek bir bölüm EK-3'de verilmiştir.







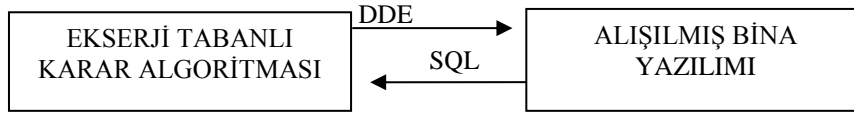
Şekil 4.18. Otomasyon algoritması akış şeması (kış - yaz işletmesi)

4.8. Algoritmanın Yüksek Performanslı Bir Binada Sınanması

Geliştirilen ekserji tabanlı algoritma, mevcut alışılmış algoritmayı yönetecek bir ana karar algoritmasıdır. Mevcut bir binada ya da bir binanın tasarımı aşamasında kullanılabilir. Özellikle tasarım aşamasında kullanılması optimum bir tasarımın yapılabilmesini, maliyet ve çevresel etkilerin azaltılmasını sağlayacaktır. Önerilen tasarım aşamasında kullanılmasıdır.

Eğer mevcut bir binada kullanmak istersek, öncelikle bina tasarımını hiç bozmadan, mevcut elektromekanik sistemin arz ve taleplerinin izlenebileceği ve arayüz olarak görev yapacak termal depolar ve sistemde yer alan cihazlar ile haberleşmeyi sağlamak üzere varsa eksik otomatik kontrol cihazları sisteme ilave edilmelidir. Ekserji tabanlı karar algoritmasının aldığı kararlar, binadaki mevcut alışılmış otomasyon sistemine, donanım üzerinden uygun haberleşme protokolleri kullanılarak iletilecektir. Bu çalışmada binada kurulu mevcut otomasyonun verileri SQL (Yapılandırılmış Sorgu Dili) ile alınmış, algoritma kararlarının mevcut otomasyona aktarılmasında da excel macro DDE (Dinamik Veri Değişimi) kullanılmıştır.

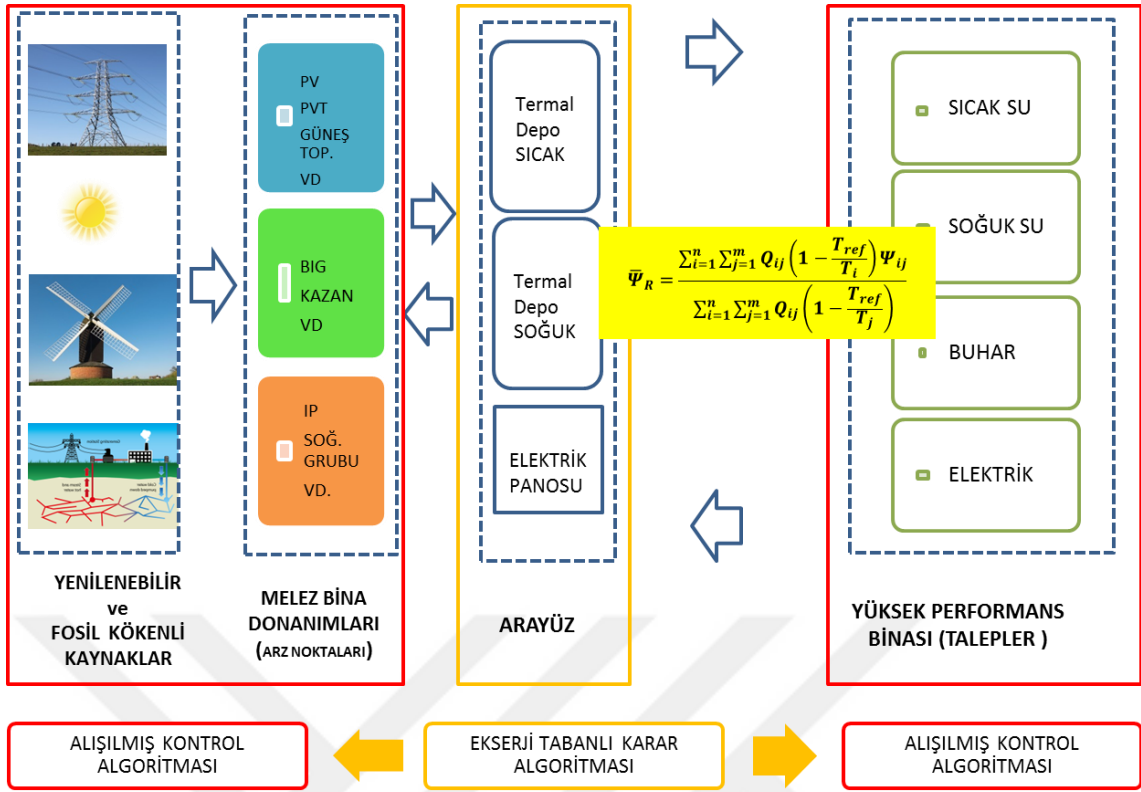
Bina tasarımında seçilen cihaz ve sistemlerin birlikte çalışabilmeleri ancak ortak bir dil kullanmaları ile mümkündür



Yani tesisat odasındaki cihaz ve sistemlerin işletilmesi, binada kurulu olan mevcut alışılmış algoritma ile bu algoritmayı yönetecek olan ekserji tabanlı karar algoritmasının gerçek zamanlı anlık haberleşmeleri ile sağlanacaktır. Karşılıklı veri aktarımı saatlik olarak ya da tercihe göre istenilen zaman aralıklarında yapılabilir.

Binada mevcut olan alışılmış (geleneksel) kontrol algoritması ile ekserji tabanlı karar algoritmasının ilişkisel gösterimi Şekil 4.19'da verilmiştir.

Tüm binanın ısı ve güç ihtiyacı, ekserji tabanlı algoritmanın kararları doğrultusunda binadaki mevcut alışılmış otomasyon tarafından arayüzlerden yani depolardan çekilecek, tesisat (Donanım) kısmı ise depoları bu karar algoritmasında hedeflenen eniyileme programı çerçevesinde besleyecektir.



Şekil 4.19. Alışılmış algoritma ile ekserji tabanlı karar algoritmasının bütünlümesi

4.8.1. Yüksek performanslı gerçek binanın mekanik tesisatı

Ekserji tabanlı optimum kontrol algoritmasının denendiği binanın elektro mekanik sistemi; rüzgâr türbini, güneş pilleri (PV), güneş kolektörleri, toprak kaynaklı ısı pompası (IP), enerji depolama sistemleri ile soğurmalı soğutma grubunu (ABS) içeren doğal gazlı üçüz-üretim (tri-generation) sistemi gibi yenilenebilir ve sürdürülebilir mekanik elemanların oluşturduğu melez bir sistemdir. Birleşik ısı-güç sistemi (BIG) binanın ısı yükünü izleyerek toprak kaynaklı ısı pompasıyla (IP) soğurmalı soğutma grubunu (ABS) beslemektedir. Birleşik ısı- güç sistemi (BIG)'ın atık ısısı temelde ısıtma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Binada ısıl depolama (TSU) yani buz deposu, soğuk ve sıcak su depoları (TES) mevcuttur. Bunlar pik yük haricindeki zamanlarda BIG'in, soğurmalı soğutma grubu ve toprak kaynaklı ısı pompasının atık ısını kullanarak enerji depolamaktadır. Sistemlerin tümü, yüksek verimli ve minimum geri ödeme süresine sahip, hemen hemen pik kapasitede çalışmak üzere seçilmiş ve boyutlandırılmıştır. Binadaki yeşil elektromekanik sistem; geleneksel yoğunmalı kazanlar ve santrifüj kompresörlü soğutma grubu ile desteklenmiştir. Isıtma ve soğutma için kullanılan toprak kaynaklı ısı pompası, BIG'in ürettiği elektrik

gücü ile çalışmaktadır. LEED'den platin sertifikası almış olan bina, melez elektromekanik sistemi ile inovasyondan da tam puan almıştır. Birkaç sistemin melez birleşimi olan bu yeşil elektromekanik sistemin amacı, en yüksek verimi elde etmenin yanı sıra maksimum ekserji verimi, düşük işletme maliyeti, düşük karbon salımı ve çevre dostu tasarım gibi hedefleri yakalamak amacıyla tasarlanmıştır. Binanın işletilmesi için kurulmuş olan bir bina işletim sistemi bulunmaktadır. Ancak alışılmış algoritmaları kullanan bu işletim sistemi tezin başında da belirtildiği gibi yenilenebilir enerji sistemleri ile desteklenmiş melez elektromekanik sistemlere sahip olan binanın optimum bir şekilde işletilmesinde yetersiz kalmıştır.

Enerji modellemesinde, Baz Bina (Baseline Building) ve Öngörülen Bina (Proposed Building) senaryoları için, binanın oniki aylık enerji tüketimi hesaplanmıştır. Doğalgazın birim ekserjisi 0.86 kW/kW, elektriğin birim ekserjisi 1.0 kW/kW alınarak sonuçlar ekserji yükleri cinsinden ifade edilip, elektrik ve doğalgaz gibi iki ayrı enerji türü eşbaza getirilip toplanmış, her iki senaryo durumunda yıllık toplam tüketimler bulunmuş ve çizelge 4.19'da özetlenmiştir.

Çizelge 4.19. Baz bina ve öngörülen bina koşullarında ekserji yüklerinin kıyaslanması

Aylar	Toplam Ekserji Yüğü Tüketimi	
	Doğalgaz + Elektrik	
	Baz Bina	Öngörülen Bina
	[kWh]	[kWh]
Ocak	135,805.7	122,163.1
Şubat	98,982.8	93,809.1
Mart	101,249.2	91,352.6
Nisan	56,608.5	52,299.1
Mayıs	58,683.8	53,425.3
Haziran	57,057.6	51,667.8
Temmuz	60,376.6	52,736.8
Agustos	65,578.1	56,561.0
Eylül	54,172.9	50,545.2
Ekim	64,641.0	57,439.8
Kasım	103,310.3	90,087.3
Aralık	116,298.9	105,606.5
Toplam	972,765	877,694
kWh/m² yıl	139.6	125.9

Toplam Yıllık Ekserji Tüketimi
 Baz Bina için 972,765 kWh
 Öngörülen Bina 877,694 kWh
 Optimize edilen enerji oranı % 9.77

Elde edilen sonucun anlamı, yüksek performanslı yeşil bina olarak inşa edilmiş ve enerji ve ekserji verimliliği, çevre ve konfor öncelikli olmak üzere LEED'in yeşil bina sertifikalandırma kriterlerini sağlamada son derece yüksek puanlara sahip binanın, alışılmış işletim sistemleri ile yönetilmeye çalışılması durumunda baz binaya göre sağlayacağı fayda, (yıllık enerji tasarrufu) sadece % 9.77 ile sınırlıdır. Simülasyon sonuçlarından elde edilen bu oran bize, öngörülen yeşil binanın baz binaya göre enerji tüketimini tahmin konusunda örnek oluşturmuştur.

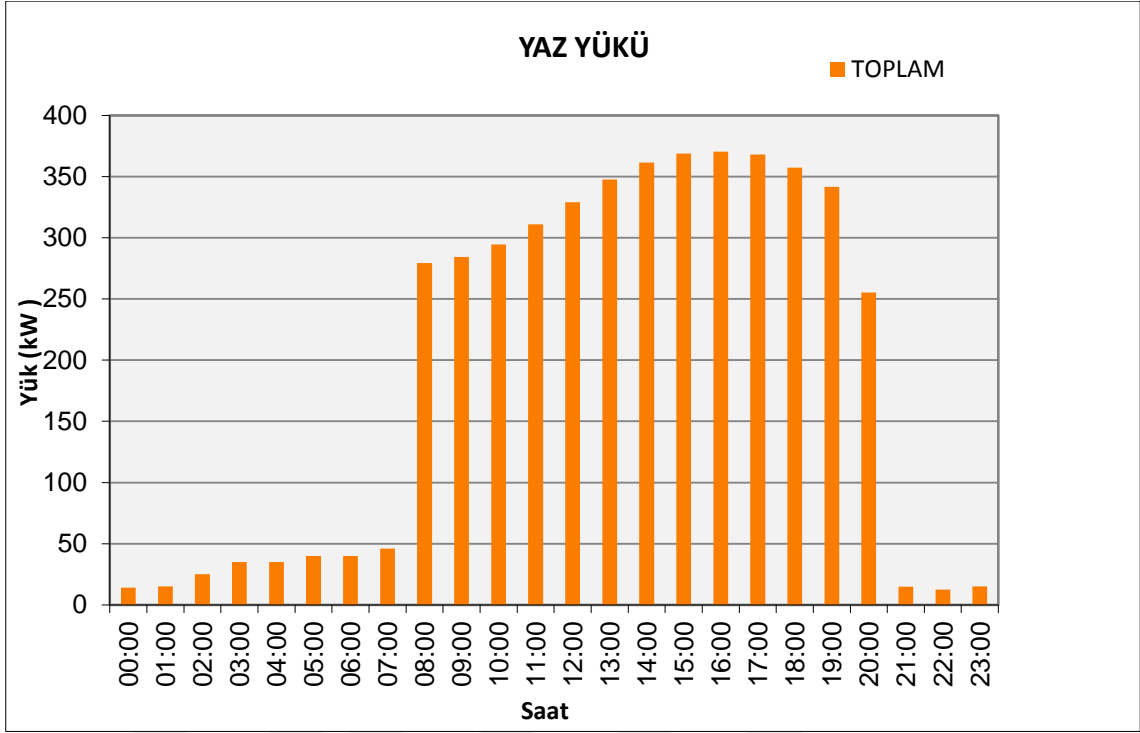
Bu bölümde binanın gerçek işletme koşullarında oniki aylık işletme döneminde alışılmış algoritma ile çalıştırılması ve oniki aylık ikinci bir dönemde de ekserji tabanlı optimum kontrol algoritmasının kararları doğrultusunda çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar kıyaslanıp değerlendirilecektir.

Bu değerlendirmeyi yapmadan önce bina yükleri, binanın işletilmesi ve binada kurulu sistemlerin izlenebilirlikleri ile ilgili bazı örnekler aşağıda paylaşılmıştır.

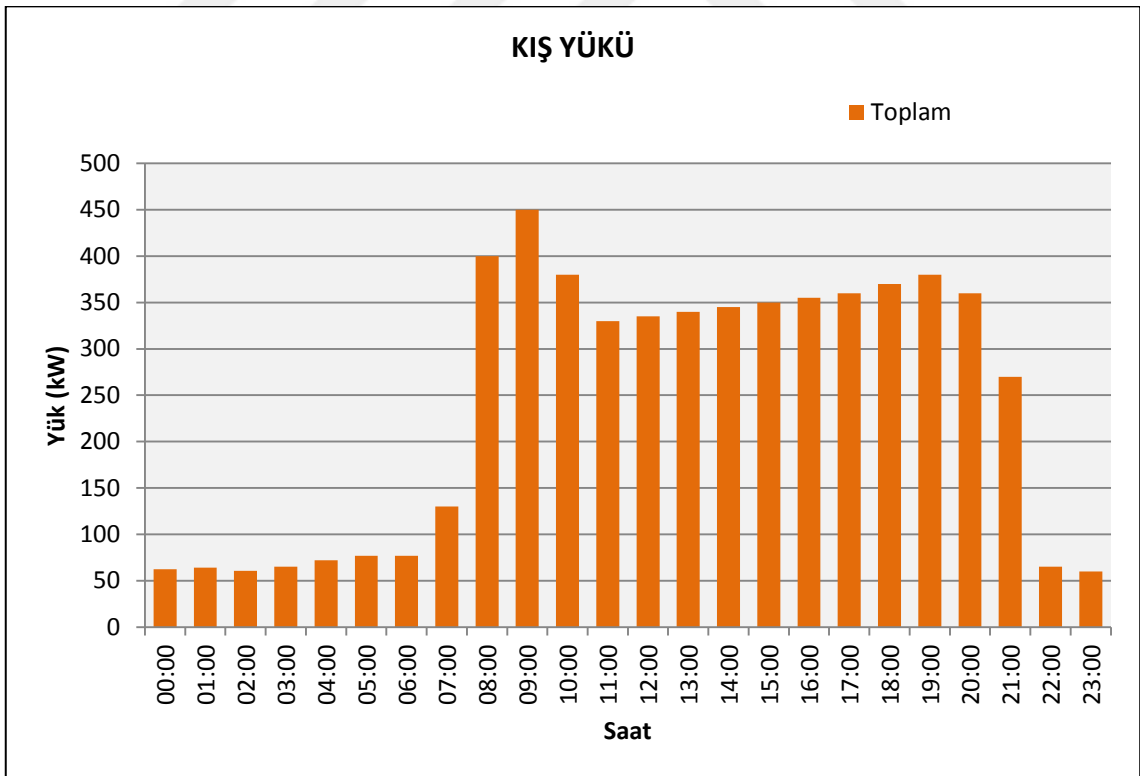
4.8.2. Binanın TS 825'e göre hesaplanan dış hava yükleri

Her iki algoritmanın denendiği örnek binanın TS 825'e göre hesaplanan saatlik yük profili, yaz-kış örnek bir gün için Şekil 4.20'de ve 4.21'de verilmiştir. Yük profillerine bakıldığında ortalama saatlik ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacı 200 kW civarındadır. Daha önce bahsedildiği gibi pik yükler termal enerji depoları (TES) tarafından karşılanarak yük profili dengelenmeye çalışılmıştır. Sözgelimi, yaz işletmesindeki pik yüklerin traşlanmasında buz deposu (TSU) kullanılmıştır.

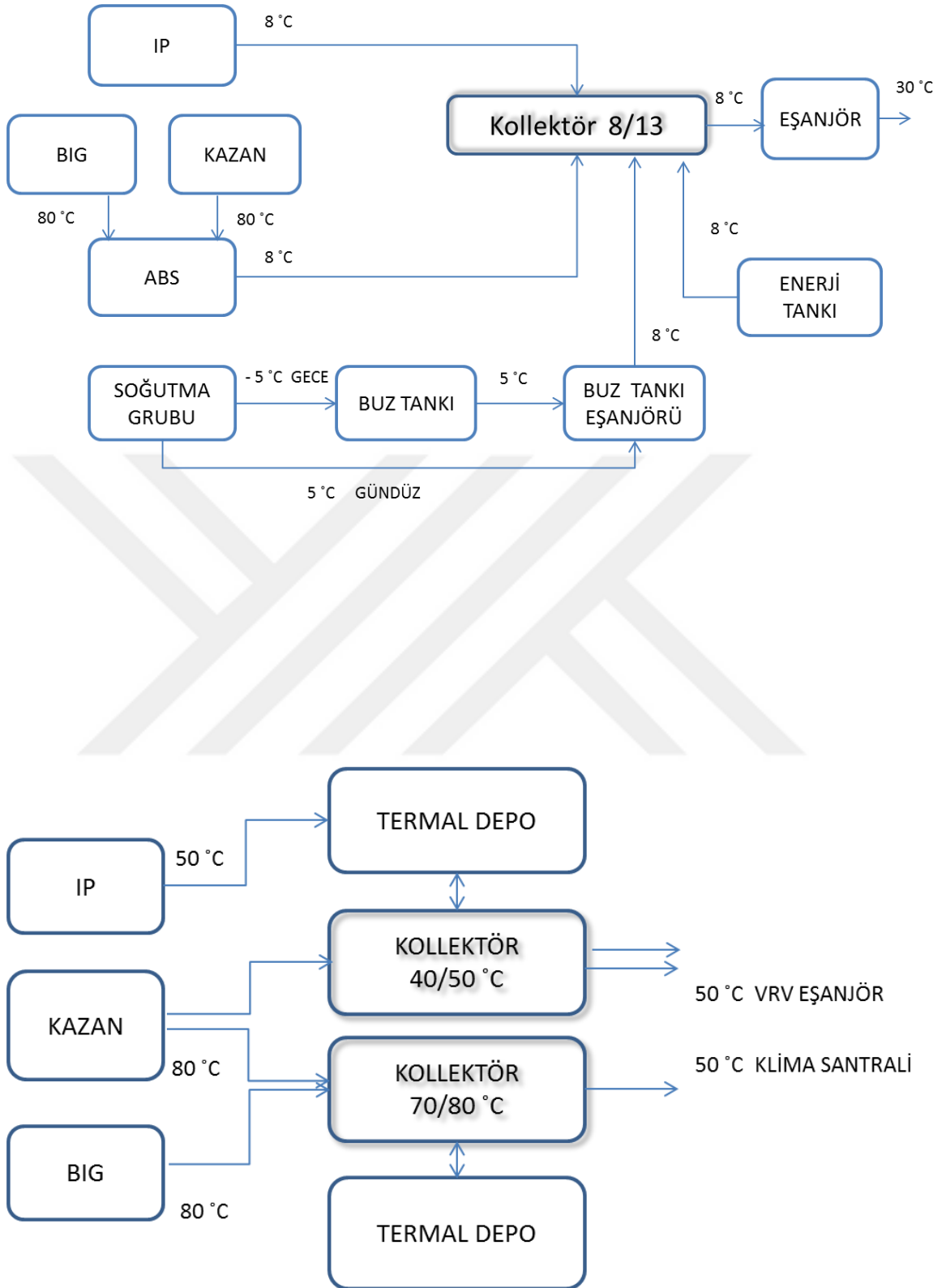
Binadaki mevcut melez sistemin, alışılmış yönteme dayalı olarak hazırlanan yaz-kış işletim akış şeması da şekil 4.22'de verilmiştir. Her ne kadar bölüm 4.8.1'de anlatılan işletim mantığı kurgulanmış olsa da bu kurgu belirlenen saat aralıklarında tasarım iç mekan sıcaklık set değerlerinin sağlanmasını hedefler. Yapı ofis binasıdır. Bu nedenle sistemlerin devreye girip çıkması daha çok mesai saatlerine göre belirlenmiştir. Uygulama yeterli esnekliğe sahip olmakla birlikte, ne yazık ki melez sistemlerde yetersiz kaldığından, performansı büyük ölçüde işletmecinin tecrübe ve yeteneğine bırakılmıştır. Cevaplamaya çalıştığımız soru, bir tarafta anlık değişken bina yük talepleri bir tarafta da kesintili yenilebilir enerji kaynaklarının olduğu melez bir sistemi bu kurguya uygun olmayan alışılmış bir algoritma ile işletmecinin kararları doğrultusunda çalıştırmak ne derece doğrudur ?



Şekil 4.20. Bina yük profili (yaz, pik yük- temmuz saat 16.00)



Şekil 4.21. Bina yük profili (kış)



Şekil 4.22. Yaz-kış işletim şemaları

4.8.3. Yüksek performanslı binadaki cihazlar ve performanslarının izlenmesi

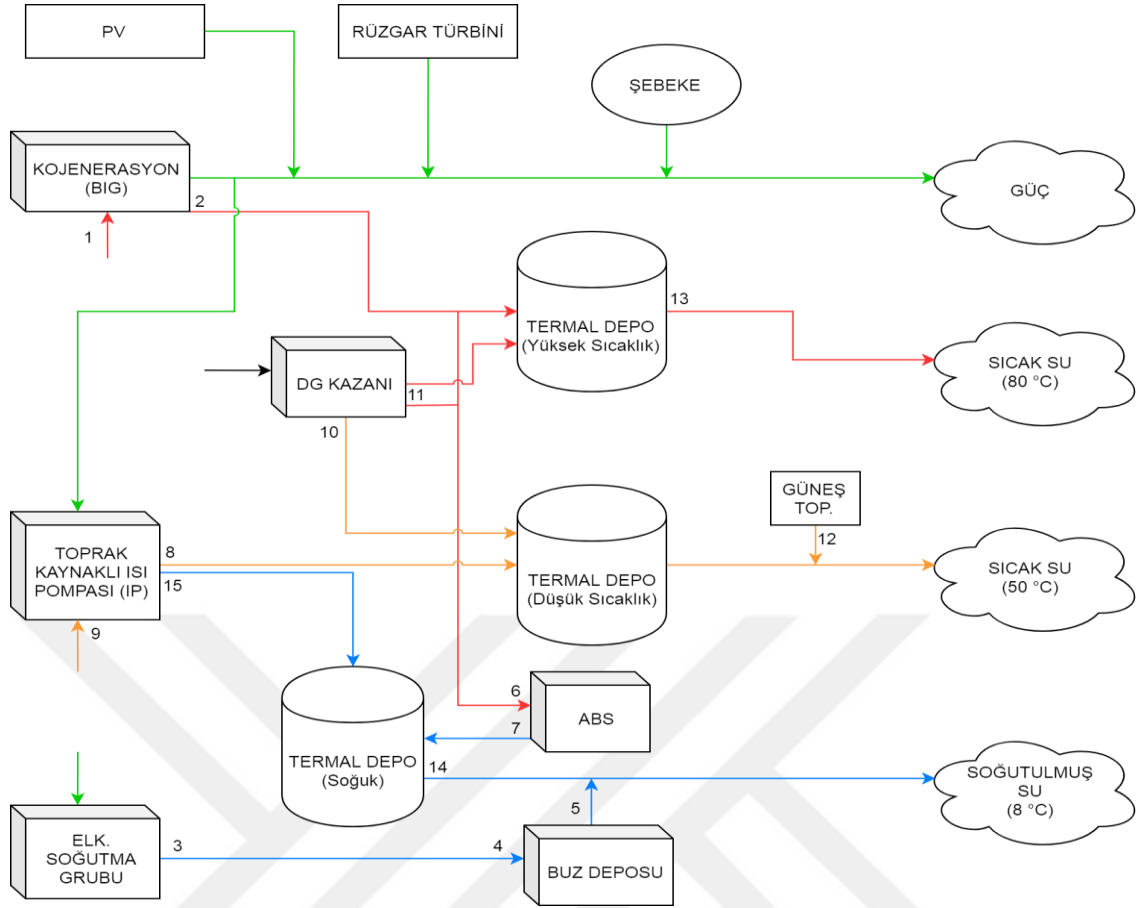
Bina yapım aşamasında yeşil bina olarak tasarlanmıştır. Hem mimari hem de elektromekanik sistemlerin kurgulanmasında yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum düzeyde yararlanma çabası ön planda tutulmuştur. Binada güneş, rüzgâr, toprak gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili uygulamalar bulunmaktadır. Binanın elektromekanik tesisatında bulunan cihazlar ve bu cihazların kapasiteleri çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Binada kurulu cihazlar ve kapasiteleri

Ekipman	Kapasiteler	
	Isıtma/Soğutma [kW]	Güç [kW]
Doğalgaz Kazanı	240/	
Kojenerasyon Cihazı (BIG)	81/	50
Toprak Kaynaklı Isı Pompası (IP)	53/61	
Elektrikli Soğutma Grubu	/200	
ABS	/45	
Buz Depoama (TSU)	/500	
Rüzgâr Türbini		1
Güneş Kolektörleri (m ²)	10	
Fotovoltaik Paneller (PV)		6
Termal Depo (TES -1)	100/	
Termal Depo (TES- 2)	160/	
Termal Depo (TES-3)	/50	

Çizelge 4.20’de yer alan cihazların gerekli teknik özellikleri EK-8’de verilmiştir. Binadaki mevcut donanım sayesinde tüm cihazların anlık ve saatlik performansları izlenebilmekte ve kayıt altına alınmaktadır. Isı Pompası, Kojenerasyon (Birleşik Isı - Güç Sistemi), Buz tankı, Termal Depolar, ABS gibi cihazların tamamı için ısı sayaçları (kalorimetreler) ve debimetreler bulunmakta ve bu cihazların anlık verileri Bina Otomasyon ve Kontrol Sistemine (BACS) aktarılmaktadır. Donanımda yer alan ölçüm cihazlarının büyük bölümü TÜBİTAK 1501 Projesi (Gülbeden, 2015) kapsamında temin edilmiş olup, donanım üzerindeki kalorimetre ve debimetreler şekil 4.23’de gösterilmiştir.

Binanın bulunduğu lokasyondaki dış hava verilerinin okunabilmesi için bina tipi bir meteoroloji istasyonu alınarak binanın çatısına kurulmuş ve anlık dış ortam verilerinin sisteme aktarımı sağlanmıştır.



Şekil 4.23. Donanım üzerindeki ölçüm noktaları

Donanımda yer alan temel cihaz birleşik ısı-güç sistemidir. Doğalgaz ile çalışan bu cihaz elektrik üretimi yaparken bir taraftan da atık ısıdan sıcak su üretmektedir. Üretilen elektrik öncelikle toprak kaynaklı ısı pompasının elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. Elektrik üretimi süresince elde edilen atık ısıdan üretilen 90 °C civarındaki sıcak su kış işletmesinde binanın ısı yükü talebini karşılamak için kullanılmaktadır. Aynı atık ısı yaz işletmesinde ise binanın soğuk ısı yükü talebini karşılamak üzere ABS'ye yönlendirilmektedir.

Cihaz üzerinde yer alan kontrol panelinden işletme değerleri ile ilgili anlık bilgilere ulaşmak mümkündür. Bu bilgiler cihazın haberleşme kartı üzerinden sağlanmaktadır. Ayrıca bu çalışma kapsamında yapılacak hesaplamalarda ihtiyaç duyulan anlık veriler donanım üzerine yerleştirilen ölçüm cihazlarından alınarak yine haberleşme kartları ile sisteme aktarılmaktadır.

Çizelge 4.21'de 1 numaralı kalorimetreden alınan Birleşik Isı- Güç Sistemine (BIG) ait saatlik debi değerlerini gösterir bir günlük rapor çıktısı örneklenmiştir.

Çizelge 4.21. BIG saatlik debi değerlerini gösterir bir günlük rapor çıktısı

REPORT		
Report ID:	RAPORLAR-KALORIMETRELER-KOJENERASYON-KOJENERASYON_VOLUME_FLOW	Date: 01.02.2014
Description:	KALORIMETRE SON ANLIK DEBI DEGERLERI RAPORU	Time: 23:46:13
01.02.2014	00:00:01	0.00 m ³ /h
01.02.2014	01:00:00	0.00 m ³ /h
01.02.2014	02:00:00	0.00 m ³ /h
01.02.2014	03:00:00	0.00 m ³ /h
01.02.2014	04:00:00	0.00 m ³ /h
01.02.2014	05:00:00	0.00 m ³ /h
01.02.2014	06:00:00	0.00 m ³ /h
01.02.2014	07:00:00	0.00 m ³ /h
01.02.2014	08:00:00	1.42 m ³ /h
01.02.2014	09:00:00	1.42 m ³ /h
01.02.2014	10:00:00	70.81 m ³ /h
01.02.2014	11:00:00	70.06 m ³ /h
01.02.2014	12:00:00	12.91 m ³ /h
01.02.2014	13:00:00	19.89 m ³ /h
01.02.2014	14:00:00	22.69 m ³ /h
01.02.2014	15:00:00	22.69 m ³ /h
01.02.2014	16:00:00	22.69 m ³ /h
01.02.2014	17:00:00	22.69 m ³ /h
01.02.2014	18:00:00	22.69 m ³ /h
01.02.2014	19:00:00	22.69 m ³ /h
01.02.2014	20:00:00	22.69 m ³ /h
01.02.2014	21:00:00	0.00 m ³ /h
01.02.2014	22:00:00	0.00 m ³ /h
01.02.2014	23:00:00	0.00 m ³ /h

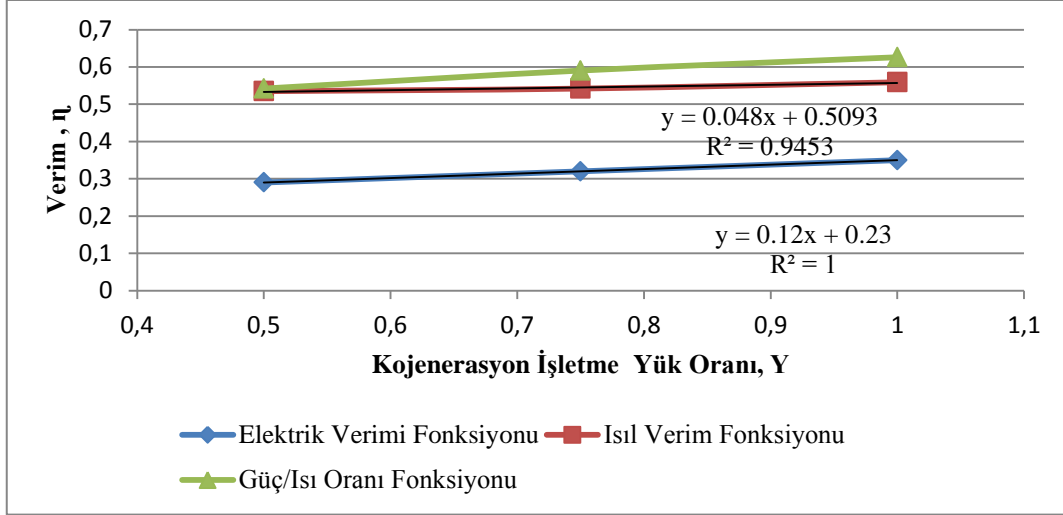
Kojenerasyon cihazının saatlik performans ve kapasite hesaplarında, Ek-2’de anlatılan kapasite düzeltme çarpanları ve aşağıda elde edilen ısı ve elektrik verimi fonksiyonları kullanılmıştır. Amaç seçilen kojenerasyon cihazının kısmi yüklerdeki gerçek veriminin elde edilmesidir.

Binada kullanılan kojenerasyon cihazının katalogunda verilen %50 ve %75 kısmi yükler ile % 100 tam yükteki elektrik ve ısı verimleri Çizelge 4.22’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. BIG’in kısmi yüklerdeki elektrik ve ısı verimleri

Y (Yük Oranı,%)	η_{1E} (%)	η_{1H} (%)	η_{1E} / η_{1H}
100	35.0	55.9	0.626118
75	32.2	54.2	0.594096
50	29.1	53.5	0.543925

Kullanılan kojenerasyon cihazının yük değişimlerine göre gerçek Isıl Verim Fonksiyonu, Elektrik Verim Fonksiyonu ve Güç/Isı Oranı Fonksiyonu elde edilmiş olup şekil 4.24’de gösterilmiştir.



Şekil 4.24. BIG'in anlık yüklerdeki ısı ve elektrik üretim verim fonksiyonları

$$\eta_{1E} = f(Y)$$

$$\eta_{1H} = f(Y)$$

Isı ve elektrik verimlerinin hesaplanmasında kısmi yük verimleri fonksiyonları kullanılmaktadır.

Ayrıca, <http://www.csgnetwork.com/relhumhpcalc.html>. web adresinde yer alan kapasite düzeltme çarpanları hesaplayıcısı da kullanımı kolay bir uygulama olup, örnek ekran görüntüsü Şekil 4.25’de verilmiştir.

Enter Current Air Temperature (OAT)	95	Degrees F
Enter Ambient Barometric Pressure	28	Inches Hg
Enter Ambient Relative Humidity	70	%
Enter Physical Or Pressure Altitude	5000	Feet

Torque Testing equipment
Equipment used to measure the Torqu properties of materials
Mecmesin.com/Torque_testing

AdChoices ▾

[Calculate] [Clear Values]

Calculated Relative Horsepower To Rated	71.0	%
Calculated Dynamometer Correction Factor	1.408	
Calculated Air Pressure	23.24	Inches Hg
Calculated Vapor Pressure	1.158	Inches Hg

Şekil 4.25. Düzeltme çarpanı hesaplayıcısı örnek ekran görüntüsü

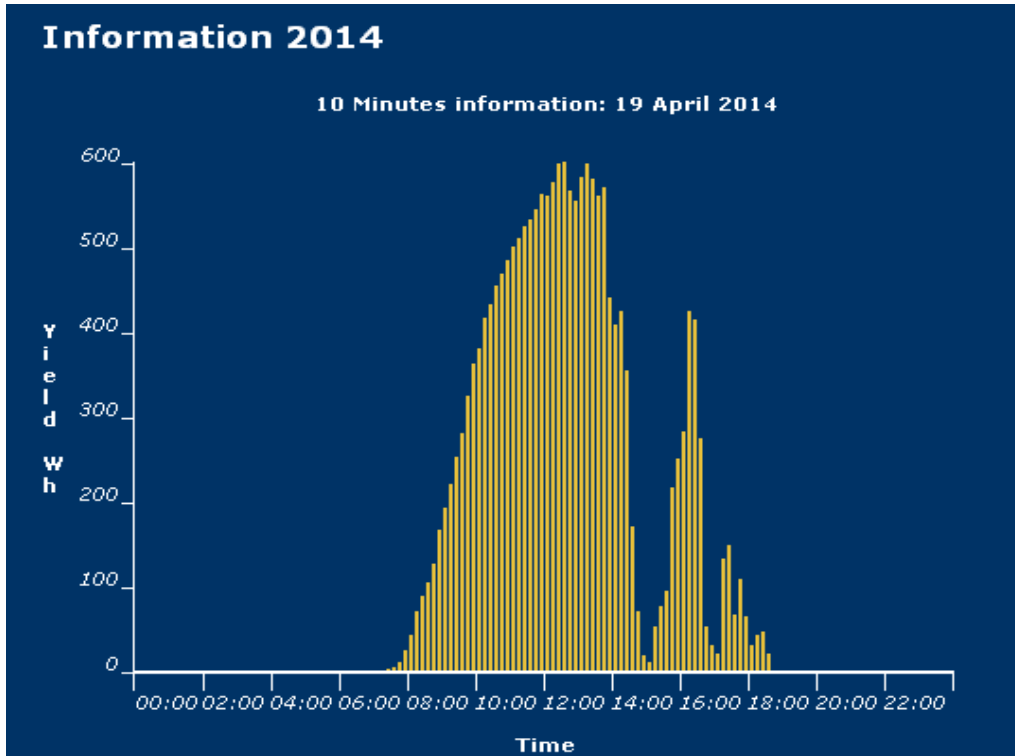
Bir diğerk örnek yine binada kurulmuş olan yenilenebilir enerji sistemlerinden seçilmiştir. Melez sistemde yer alan düzlemsel güneş toplaçları ve on-grid PV'lerin performansları da saatlik olarak ölçülmekte ve raporlanmaktadır.

Çizelge 4.23'de güneş toplaçlarının gidiş-dönüş su sıcaklıkları değerlerini gösterir kalorimetre rapor çıktısı verilmiştir.

Çizelge 4.23. Güneş toplaçlarına ait örnek bir güne ait rapor çıktısı

REPORT			
Report ID:	RAPORLAR-KALORIMETRELER-GUNES ENERJISI-GUNES_SICAKLIKLAR		Date: 26.08.2014
Description:	GUNES KALORIMETRE SICAKLIK DEGERLERI RAPORU		Time: 23:46:03
GUNES SON HAFTA GIDIS SIC. DEGERLERI		DONUS SIC. DEGERLERI	
28.08.2014	00:00:01	42,90 °C	30,30 °C
28.08.2014	01:00:00	42,60 °C	29,90 °C
28.08.2014	02:00:00	42,20 °C	29,70 °C
28.08.2014	03:00:00	41,90 °C	29,50 °C
28.08.2014	04:00:00	41,60 °C	29,10 °C
28.08.2014	05:00:00	41,20 °C	28,90 °C
28.08.2014	06:00:00	40,80 °C	28,50 °C
28.08.2014	07:00:00	40,50 °C	28,20 °C
28.08.2014	08:00:00	35,80 °C	40,50 °C
28.08.2014	09:00:00	50,10 °C	44,40 °C
28.08.2014	10:00:00	55,80 °C	47,00 °C
28.08.2014	11:00:00	57,00 °C	45,60 °C
28.08.2014	12:00:00	62,40 °C	41,30 °C
28.08.2014	13:00:00	60,60 °C	45,80 °C
28.08.2014	14:00:00	49,80 °C	43,30 °C
28.08.2014	15:00:00	54,50 °C	50,40 °C
28.08.2014	16:00:00	50,10 °C	46,80 °C
28.08.2014	17:00:00	44,60 °C	44,50 °C
28.08.2014	18:00:00	39,30 °C	35,80 °C
28.08.2014	19:00:00	38,50 °C	31,40 °C
28.08.2014	20:00:00	38,00 °C	28,50 °C
28.08.2014	21:00:00	37,70 °C	27,10 °C
28.08.2014	22:00:00	37,60 °C	26,40 °C
28.08.2014	23:00:00	42,90 °C	

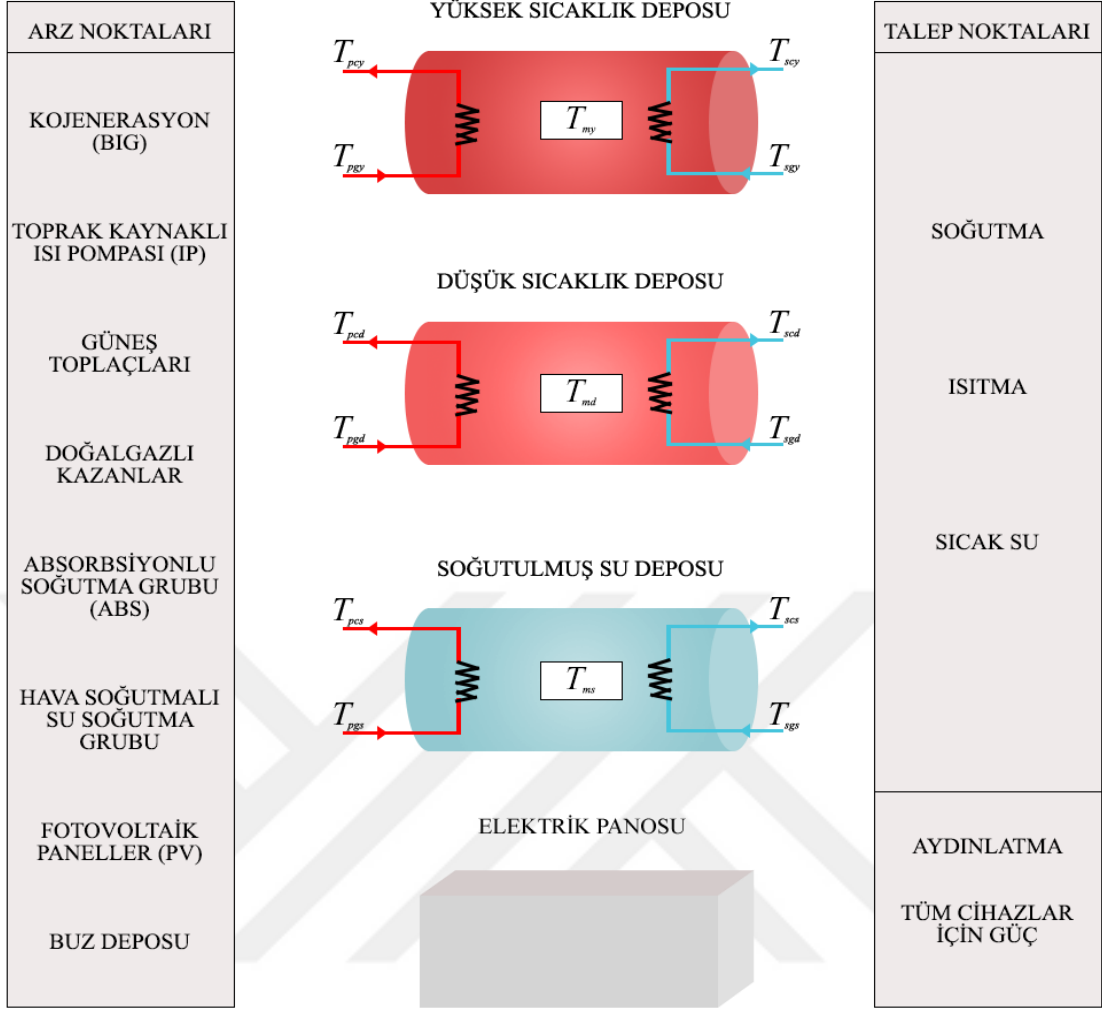
Fotovoltaik Panellerin (PV) performansı ise online olarak, <http://192.168.4.230/> adresinden izlenebilmektedir. 19 Nisan 2014 tarihinde alınan ve PV'lerin saatlik elektrik üretimini (Wh) gösterir anlık verilere ait performans grafiğı Şekil 4.26'da örneklenmiştir. Bu sonuçlar, meteoroloji istasyonundan alınan veriler kullanılarak yapılan hesapsal sonuçlarla kıyaslanıp doğrulanarak binada kurulu sisteme anlık olarak aktarılmaktadır.



Şekil 4.26. Binada kurulu PV'lerin saatlik performansı (19.Nisan.2014)

4.8.4. Gerçek binaya uyarlama

Algoritmanın sınanacağı binada bulunan birleşik ısı-güç sistemi (BIG), Isı pompası (IP), doğalgaz kazanları, soğurmalı soğutma grubu (ABS), santrifüj kompresörlü soğutma grubu, buz deposu (TSU), rüzgar türbini, PV paneller, güneş toplaçları ve şebeke elektriğinden arz edilen ısı ve elektrik gücünün arayüz depoları ve elektrik paneli üzerinden talep noktaları ile eşleştirmesi yapılmıştır. Şekil 4.19'da gösterilen sanal arayüzün gerçek uygulamadaki fiziki karşılığı olarak, binada üç adet termal depo (Yüksek Sıcaklık Deposu, Düşük Sıcaklık Deposu ve Soğutulmuş Su Deposu) ile bir adet Elektrik Panosu kullanılmıştır. (Şekil 4.27)



Şekil 4.27. Modelin mevcut binalara uygulanması ve arayüz depoları

4.8.4.1. Arayüz formülleri

Öncelikle arayüzler üzerinden binanın anlık ısı ve elektrik yük talepleri tanımlanmıştır.

Bina anlık elektrik yükü talebi E_B (kWh), kojenerasyon cihazından (E_{BIG}), fotovoltaik panellerden (E_{PV}) ve şebekeden (E) temin edilen elektrik yükünün toplamıdır ;

$$E_B = E_{BIG} + E_{PV} + E \quad (4.1)$$

Bina anlık ısı yükü, Q_B (kWh) ise düşük sıcaklık deposu Q_D , yüksek sıcaklık deposu Q_Y ve soğutulmuş su deposu Q_S , tarafından talep edilen yüklerin toplamıdır;

$$Q_B = Q_D + Q_Y + Q_S \quad (4.2)$$

H_d , Depodaki mevcut (anlık) enerji,

f_r , Depoda olması istenen ısı doluluk oranı (%),

Qd_d , Düşük enerji deposu termal kapasitesi,

d_{sd} , Bina anlık yük talebi

olmak üzere, düşük enerji deposu anlık yük talebi Q_D (kWh) ;

$$Q_D = f_r + Qd_d + d_{sd} - H_d \quad (4.3)$$

Yüksek enerji deposu anlık yük talebi, Q_Y (kWh)

$$Q_Y = f_r + Qd_y + d_{sy} - H_y \quad (4.4)$$

Soğutulmuş su deposu anlık yük talebi, Q_S (kWh)

$$Q_S = f_r + Qd_s + d_{ss} - H_s \quad (4.5)$$

olarak ifade edilir.

f_r , depolarda hazır bulunması istenen ısı doluluk oranı olup bu uygulamada % 80 olarak alınmıştır.

d_w : Depolanan akışkan yoğunluğu (su) kg/m^3

V_y : Depo hacmi (yüksek sıcaklık deposu) m^3

c_{pw} : Suyun özgül ısısı (Wh/kgK)

olmak üzere, arayüz depolarındaki mevcut termal kapasiteler:

Yüksek sıcaklık deposu termal kapasite, Qd_y (kWh);

$$Qd_y = d_w \times V_y \times c_{pw} \times (T_{ymax} - T_{ymin}) \quad (4.6)$$

Düşük sıcaklık deposu termal kapasite, Qd_d (kWh)

$$Qd_d = d_w \times V_d \times c_{pw} \times (T_{dmax} - T_{dmin}) \quad (4.7)$$

Soğutulmuş su deposu termal kapasite, Qd_s (kWh)

$$Qd_s = d_w \times V_s \times c_{pw} \times (T_{smax} - T_{smin}) \quad (4.8)$$

Binanın depolardan talep ettiği enerji ise bina tarafından talep edilen akışkan (sıcak su /soğuk su) miktarı ile akışkan depo giriş çıkış sıcaklıklarına bağlı olarak sırasıyla aşağıdaki şekilde tanımlanmış ve formüle edilmiştir;

Binanın yüksek sıcaklık deposundan enerji talebi, d_{sy} (kWh)

$$d_{sy} = m_{syw} \times c_{pw} \times (T_{scy} - T_{sgy}) \quad (4.9)$$

Binanın düşük sıcaklık deposundan enerji talebi, d_{sd} (kWh)

$$d_{sd} = m_{sdw} \times c_{pw} \times (T_{scd} - T_{sgd}) \quad (4.10)$$

Binanın soğutulmuş su deposundan enerji talebi, d_{ss} (kWh)

$$d_{ss} = m_{ssw} \times c_{pw} \times (T_{scs} - T_{sgs}) \quad (4.11)$$

T_{sc} : Depo sekonder devre giriş sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}/\text{K}$)

T_{sg} : Depo sekonder devre çıkış sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}/\text{K}$)

m_s : Talep edilen (sekonder devrede dolaşan) su miktarı (kg), olarak alınmıştır.

Depolarda mevcut anlık enerji miktarının hesaplanmasında aşağıdaki 4.12, 4.13 ve 4.14 formülleri kullanılmıştır.

Depo ortalama sıcaklığı $T_m(^{\circ}\text{C})$, minimum tasarım sıcaklığı $T_{min}(^{\circ}\text{C})$, maksimum tasarım sıcaklığı $T_{max}(^{\circ}\text{C})$ olmak üzere;

Soğutulmuş su deposunda mevcut enerji miktarı, H_s (kWh)

$$H_s = Qd_s \times \frac{(T_{ms} - T_{smin})}{(T_{smax} - T_{smin})} \quad (4.12)$$

Yüksek sıcaklık deposunda mevcut enerji miktarı, H_y (kWh)

$$H_y = Qd_y \times \frac{(T_{my} - T_{ymin})}{(T_{ymax} - T_{ymin})} \quad (4.13)$$

Düşük sıcaklık deposunda mevcut enerji miktarı, H_d (kWh)

$$H_d = Qd_d \times \frac{(T_{md} - T_{dmin})}{(T_{dmax} - T_{dmin})} \quad (4.14)$$

4.8.4.2. Kojenerasyon (BIG) kapasite hesapları

Kojenerasyon ünitesinin devreye girip girmemesinde karar değeri olarak kullanılan (ϵ_p) değerinin hesaplanması için öncelikle seçilen kojenerasyon cihazının güç / ısı oranı hesaplanmıştır.

BIG Güç/Isı oranı, C_{BIG} ;

$$C_{BIG} = \frac{E_{BIG}}{H_{BIG}} \quad (4.15)$$

BIG'in devreye girip girmemesinde etkili olan varsayı değeri, ϵ_p ;

$$\epsilon_p = \frac{\left| \frac{E}{Q_B} - C_{BIG} \right|}{C_{BIG}} \quad (4.16)$$

ϵ_p ; Bu çalışmada varsayı değeri 0.75 alınmıştır.

BIG'in 1. Yasaya göre toplam verimi, η_{1T} ;

$$\eta_{1T} = \eta_{1E} + \eta_{1H} \quad (4.17)$$

η_{1E} : BIG elektrik verimi (1. Yasaya göre kısmi elektrik verimi)

η_{1H} : BIG ısı verimi (1. Yasaya göre kısmi ısı verimi)

4.8.4.3. PES (BIG açıkken sağlanan yakıt tasarrufu)

Kojenerasyon cihazı (BIG)'in devrede olduğu süre boyunca sağlanan yakıt tasarrufunun hesaplanmasında aşağıdaki performans metriği, Birincil Enerji Tasarruf Yüzdesi (PES) kullanılmıştır. (EK-1)

$$PES_{BIG} = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_{1H}}{REF_{\eta_{1H}}} + \frac{\eta_{1E}}{REF_{\eta_{1E}}}} \right) \times 100 \quad (4.18)$$

Uygulamada $REF_{\eta_{1H}} : 0.80$ $REF_{\eta_{1E}} : 0.52$ alınmıştır.

H_{BIG} , BIG'in atık ısısı olmak üzere, binanın soğuk yük talebinin karşılanması için BIG'in atık ısını kullanan ABS'nin ürettiği mevcut kapasite, C_{abs} (kWh);

$$C_{abs} = H_{BIG} \times COP_{abs} \quad (4.19)$$

COP_{abs} , ABS Performans katsayısıdır.

4.8.4.4. Buz depolama ve ısı pompası

Buz deposunda o zaman diliminde üretilen soğuk, C_{bt} (kWh);

$$C_{bt} = \frac{H_{bt}}{T_{melt}} \times OR_{bt} \times \Delta t \quad (4.20)$$

H_{bt} : Buz deposu kapasitesi (kW)

T_{melt} : Buz deposu erime süresi (h)

OR_{bt} : Buz kalınlık (doluluk) oranı (%)

olarak alınmıştır.

Modelin denendiği binadaki ısı pompasının performansı ısı sayaçları ile ölçülmektedir. Ancak bunun mümkün olmadığı koşullarda ısı pompası çıktısı Q_{IP} , ısı pompası tesir katsayısı (COP_{IP}) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$Q_{IP} = \text{Kompresör Gücü} \times COP_{IP} \quad (4.21)$$

4.8.4.5. Yenilenebilir enerji oranı (YEO)

Saatlik performansların hesaplanmasında kullanılan YEO (Yenilenebilir enerji oranı veya alternatif enerji oranı), bina toplam yükünün (ısı ve elektrik) ne kadarının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılandığının bir göstergesi olup EK-1'de tanımlanmıştır.

Yenilenebilir enerji oranı, yaz ve kış işletme koşullarına göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$YEO_{kış} = \frac{\{(Q_{IP}+Q_{güneş}+Q_{BIGbiogaz})\times\Psi_{RB}+E_{PV}\times\Psi_{RPV}\}}{(Q_B\times\Psi_{RB}+E_B\times\Psi_{RE})} \quad (4.22)$$

$$YEO_{yaz} = \frac{\{(Q_{IP}+Q_{güneş}+Q_{BIGbiogaz})\times\Psi_{RB}+E_{PV}\times\Psi_{RPV}\}}{(Q_B\times\Psi_{RB}+Q_{boylet}\times\Psi_{Rboylet})+E_B\times\Psi_{RE}} \quad (4.23)$$

Q_{IP} : Isı Pompasının ürettiği ısı enerjisi (kWh)

$Q_{güneş}$: Güneş Toplaçlarından alınan ısı enerjisi (kWh)

$Q_{BIGbiogaz}$: BIG Biogazlı ise Kojenerasyon cihazından alınan ısı enerjisi (kWh)

PV_E : Fotovoltaik Panellerden alınan enerji (kWh)

Q_B : Ölçüm anındaki bina ısı yükü (kWh)

E_B : Ölçüm anındaki bina elektrik yükü (kWh)

Ψ_R : Kısmi ekserji verimi

4.8.4.6. Ortalama akılcı ekserji yönetim verimi

Kış işletme koşullarına göre yazılan Ortalama Akılcı Ekserji Yönetim Verimi formül 4.24'de verilmiştir.

$$\bar{\Psi}_R = \frac{(Q_{BIG}+E_{BIG})\times\Psi_{RBIG}+(Q_{IP}\times\Psi_{RIP})+(Q_{kazan}\times\Psi_{Rkazan})+(E_{PV}\times\Psi_{RPV})+(E\times\Psi_{RE})}{Q_{BIG}+E_{BIG}+Q_{IP}+Q_{kazan}+E_{PV}+E} \quad (4.24)$$

Yaz işletme koşullarında ise Ortalama Akılcı Ekserji Yönetim Verimi aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\bar{\Psi}_R = \frac{(Q_{BIG}+E_{BIG})\times\Psi_{RBIG}+(Q_{IP}\times\Psi_{RIP})+(Q_{güneş}\times\Psi_{Rgüneş})+(E_{PV}\times\Psi_{RPV})+(E\times\Psi_{RE})}{Q_{BIG}+E_{BIG}+Q_{IP}+Q_{güneş}+E_{PV}+E} \quad (4.25)$$

Uygulamada, şebekeden alınan elektrik ve güneşin kısmi ekserji verimleri için aşağıdaki değerler kullanılmıştır:

$$\Psi_{RE} : 0.20 \quad \Psi_{Rgünes} : 0.04$$

4.8.4.7. Tasarruflar

Yakıt tasarrufunun hesaplanmasında ‘Baz Bina’ referans olarak alınmıştır. Baz bina durumuna göre, yani bina sadece doğalgaz ve şebeke elektriği kullanarak ısıtılıp soğutulsaydı durumuna göre TL/h olarak toplam yakıt gideri hesaplanmıştır.

Binada BIG yokken, elektrik üretim eşbazında sadece doğalgaz ve şebeke elektriği kullanıldığı durumdaki ısı ve güç maliyeti TL_1 ;

$$TL_1 = E \times \Delta t \times p_e + \left(\frac{Q_{kazan}}{\eta_{1k}} \right) \times p_d \quad (4.26)$$

Q_{kazan} : Doğalgazlı kazan yükü (kWh)

E : Şebekeden alınan elektrik (kW)

Δt : Zaman dilimi (h)

p_e : O zaman dilimindeki elektrik tarife birim fiyatı (TL/kWh)

η_{1k} : Kazan verimi

p_d : Doğalgaz tarife birim fiyatı (TL/kWh)

Mevcut durumda, binada BIG varken ısı ve güç maliyetinin, TL_2 , hesaplanması için aşağıdaki eşitlik yazılmıştır (BIG+ şebeke) ,

$$TL_2 = E_{BIG} \times \Delta t \times \frac{p_d}{\eta_{1E}} + \frac{(Q_B - H_{BIG})}{\eta_{1k}} \times p_d + (E - E_{BIG}) \times \Delta t \times \Delta p_e \quad (4.27)$$

Isı ve güç maliyetlerini yaz işletmesi için yazmak istersek eşitlik 4.26 ve 4.27 aşağıdaki gibi düzenlenir.

$$TL_1 = E \times p_e \times \Delta t \quad (4.28)$$

$$TL_2 = \frac{E_{BIG}}{\eta_{1E}} \times p_d \times \Delta t + \left(\frac{|(H_{BIG} \times COP_{abs} - Q_S)|}{COP_{CH1}} \right) \times p_e \times (E - E_{BIG}) \times p_e \times \Delta t \quad (4.29)$$

Baz bina koşulunda sadece soğutma işlemi için eşitlik 4.28'de $E = \frac{Q_s}{COP_{CH}}$ olarak alınır.

4.8.4.8. Akılcı ekserji verim katsayısı, $(AEV)_K$

Baz senaryoya göre 'Akılcı Ekserji Yönetim Verimi'nde ne kadar artış olduğunu hesaplamak için 'Akılcı Ekserji Verim Katsayısı'na bakmamız gerekir. Akılcı ekserji verim katsayısı EK-1'de tanımlanmış olup, baz senaryo için akılcı ekserji yönetim verimleri ısı ve elektrik için sırasıyla $\Psi_R = 0.04$ ve $\Psi_R = 0.2$ alınarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$AEV_k = \left\{ \frac{\bar{\Psi}}{\left(\frac{0.04 \times Q_B + 0.20 \times E_B}{Q_B + E_B} \right)} \right\} - 1 \quad (4.30)$$

Yaz işletmesi koşullarında eğer ısıtma yok ise Q_B sıfır alınmalıdır.

4.8.4.9. CO_2 hesapları

BIG, kazan ve şebeke kaynaklı birincil CO_2 salımı (kg) denklem (3.6) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$(CO_2)_1 = \left(\frac{Q_{kazan} \times c_i}{\eta_{1k}} \right) + \left(\frac{H_{BIG} \times c_i}{\eta_{1H}} \right) + \left(\frac{E \times c_j}{\eta_t} \right) \quad (4.31)$$

Q_{kazan} , Doğalgaz kazanının ürettiği anlık ısı yük (kWh)

Yaz işletmesi koşullarında, formül 4.31 aşağıdaki gibi yazılmalıdır;

Eğer kojende kapasite varsa;

$$(CO_2)_1 = \left(\frac{H_{BIG} \times c_i}{\eta_{1H}} \right) + \left(\frac{H_{IPC} \times c_i}{COP_C \times \eta_{1E}} \right) \quad (4.32)$$

Eğer kojende kapasite yoksa ve ısı pompası şebeke elektriği ile çalışıyorsa;

$$(CO_2)_1 = \left(\frac{H_{BIG} \times c_i}{\eta_{1H}} \right) + \left(\frac{CH_{1C} \times c_j}{COP_{CH} \times \eta_t} \right) \quad (4.33)$$

4.8.4.10. CO_2 azaltım katsayısı

EK-1’de tanımlandığı üzere, CO_2 azaltım katsayısının hesaplanmasında da baz senaryo koşuluna göre kıyaslama yapılmıştır. CO_2 salımında baz senaryoya göre ne kadar azalma olduğu aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$(CO_2)_K = \frac{(2-\bar{\Psi})}{2 - \left(\frac{\Psi_{kazan} \times Q_B + \Psi_E \times E_B}{Q_B + E_B} \right)} \quad (4.34)$$

Yaz işletme koşullarında CO_2 azaltım katsayısının hesaplanması için formül 4.35 yazılmıştır.

$$(CO_2)_K = \frac{(2-\bar{\Psi})}{2 - \left(\frac{\Psi_E \times E_B}{E_B} \right)} \quad (4.35)$$

4.8.4.11. Ekserji verimsizliğine bağlı önlenebilir 2. yasa CO_2 salımı

Ekserji Verimsizliğine bağlı, önlenebilir CO_2 salımının, bir diğer ifade ile ikincil CO_2 salımının hesaplanması, birincil CO_2 salımının CO_2 azaltım katsayısı ile çarpımı ile elde edilmiştir.

$$(CO_2)_2 = (CO_2)_1 \times (CO_2)_K \quad (4.36)$$

4.8.4.12. CO_2 hesapları (piyasa değeri)

Baz binadaki (sadece kazan ve şebeke elektriği kullanılmış olsaydı) CO_2 salımı kg olarak aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$(CO_2)_B = \left(\frac{Q_B \times c_i}{\eta_{1k}} \right) + \left(\frac{E_B \times c_j}{\eta_t} \right) \quad (4.37)$$

Yaz işletmesinde ise binada ısı yükü bulunmadığından eşitlik 4.37’deki ilk terim sıfırdır.

$$(CO_2)_B = \left(\frac{E_B \times c_j}{\eta_t} \right) \quad (4.38)$$

CO_2 salımının 1. Yasaya göre piyasa değeri, $(CO_2)_{1P}$

$$(CO_2)_{1P} = ((CO_2)_B - (CO_2)_1) \times p_{CO} \quad (4.39)$$

CO_2 salımının 2. Yasaya göre piyasa değeri, $(CO_2)_{2P}$, TL olarak,

$$(CO_2)_{2P} = ((CO_2)_B - (CO_2)_2) \times p_{CO} \quad (4.40)$$

p_{CO} ; Güncel CO_2 birim fiyatı (TL/kg veya €/ton)

Yaz işletme koşullarında, CO_2 salımının 1. Yasaya göre piyasa değeri, $(CO_2)_{1P}$

$$(CO_2)_{1P} = ((CO_2)_B - (CO_2)_1) \times p_{CO} \quad (4.41)$$

Yaz işletme koşullarında, CO_2 salımının 2. Yasaya göre piyasa değeri, $(CO_2)_{2P}$

$$(CO_2)_{2P} = ((CO_2)_B - (CO_2)_2) \times p_{CO} \quad (4.42)$$

4.8.5. Bina ekserji analizi

Ölçümler ve hesaplamalarla elde edilen veriler kullanılarak çıkarılmış olan bina ekserji akış şeması şekil 4.28'de gösterilmiştir. Arz ve talep ekserjileri ile Akılcı Ekserji Yönetim Veriminin hesaplanmasında bölüm 3.1'de verilmiş olan eşitlikler kullanılmıştır.

Örneğin, güneş kollektörü (4) için yapılan hesaplamada; öncelikle eşitlik 3.2 kullanılarak, enerji girdisinin yani güneşin eşdeğer sıcaklığı bulunmuştur. Örnek binada yapılan ölçümlerden yaz kış birer örnek gün ortalamaları alındığında güneşin ışınlam değeri yaz sezonunda $I = 330 \text{ W/m}^2$, kış sezonunda ise $I=13 \text{ W/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Yaz sezonu için $I = 330 \text{ W/m}^2$ olarak alınarak, eşitlik 3.2'den,

$$\frac{330}{1,366} = \frac{\left(1 - \frac{283}{T_f}\right)}{\left(1 - \frac{283}{5,800}\right)}$$

$T_f = 367.5$ K olarak örnek binanın bulunduğu lokasyonda güneşin eşdeğer sıcaklığı bulunur. Buradan,

$$\epsilon_{güneş} = \left(1 - \frac{283}{367.5}\right) = 0.229 \text{ W/W}$$

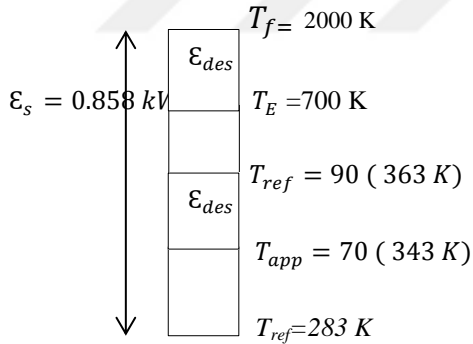
olarak hesaplanmıştır. Yani yaz sezonunda ışınım yoğunluğunun potansiyel olarak ortalama %22.9'u yararlı işe çevrilebilmektedir. Bunu TES-1'in 50°C sıcak su talebi için kullandığımızda,

$$\epsilon_{d5} = \left(1 - \frac{283}{323}\right) = 0.123 \text{ W/W}$$

$$\psi_{45} = \frac{0.123}{0.229}$$

$$\psi_{45} = 0.537$$

Bir diğer örneğe BIG'a bakarsak; BIG ekserjinin yararlı uygulamadan sonra yıkılmasına bir örnektir.

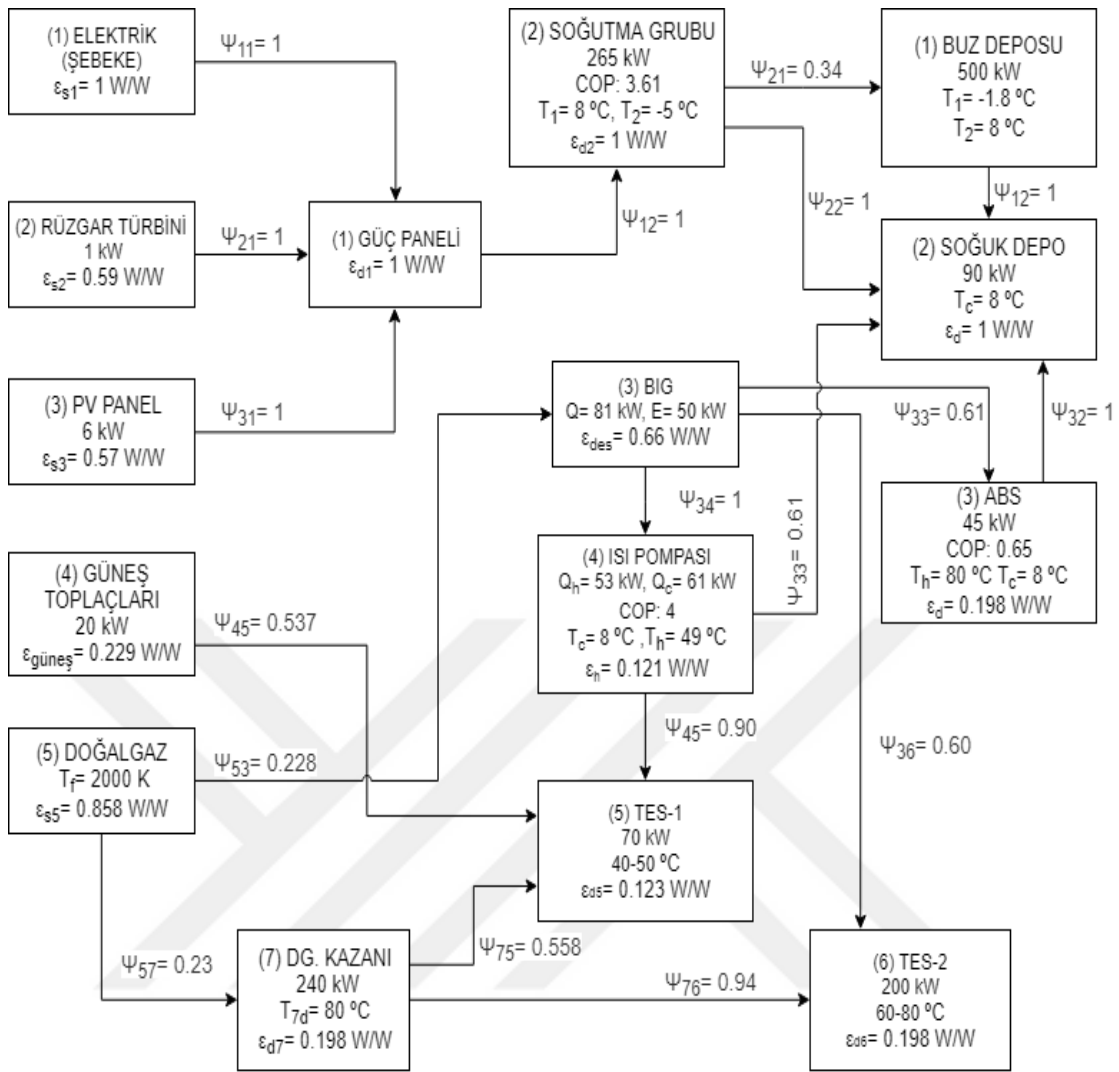


$$\epsilon_{des} = \left(1 - \frac{363}{700}\right) + \left(1 - \frac{283}{343}\right) = 0.66 \text{ W/W}$$

Doğalgazın birim ekserjisi formül 3.4'de $\epsilon_{dgaz} = 0.858$ W/W olarak hesaplanmıştır.

$$\psi_{53} = 1 - \frac{\epsilon_{des}}{\epsilon_s} = 1 - \frac{\left(1 - \frac{363}{700}\right) + \left(1 - \frac{283}{343}\right)}{0.858} = 0.228$$

olarak elde edilir.



Şekil 4.28. Ekserji akış şeması

4.8.6. Örnek bir günün saatlik rapor çıktıları

Ekserji tabanlı modelin uygulandığı yüksek performans binasının aynı model özelinde geliştirilen ekserji tabanlı optimum sistem kontrol Algoritması ile işletildiği örnek bir güne ait saatlik rapor çıktısı, (kolon sayısı fazla olduğundan yedi ayrı çizelgeye bölünmüştür) çizelge 4.24, 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 ve 4.30'da verilmiştir.

Raporda o saate ait kullanıcı girdileri, dış hava verileri, binanın yük talepleri, bu taleplerin hangi sistem ve cihaz tarafından karşılandığı, cihazların ve sistemin o saate ait performansları, tasarruflar, 1. ve 2. yasaya göre CO_2 salımları görülmektedir.

Raporun ilk iki bölümünde anlık bina yük taleplerinin karşılanması ve ve dış ortam verileri yer almaktadır.

Çizelge 4.24. Kış örnek güne ait rapor çıktısı, 1

<i>Tarih/Saat</i>	<i>Toplam Isı yükü (kWh)</i>	<i>Toplam Elektrik yükü (kWh)</i>	<i>BIG Güç (kWh)</i>	<i>BIG Isı yükü (kWh)</i>	<i>IP Isı yükü (kWh)</i>	<i>Kazan Isı yükü (kWh)</i>	<i>Atık Isı yükü (kWh)</i>	<i>AEV ψ</i>	<i>YEO (%)</i>	<i>PVE (kWh)</i>	<i>Güneş Isı yükü (kWh)</i>
11/30 24:00:00	62.49	41.53	0.00	0.00	0.00	62.49	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
12/01 01:00:00	64.26	43.50	0.00	0.00	13.55	51.00	0.00	0.19	0.17	0.00	0.00
12/01 02:00:00	60.74	43.86	0.00	0.00	10.91	50.00	0.00	0.18	0.14	0.00	0.00
12/01 03:00:00	65.00	41.21	0.00	0.00	13.42	52.00	0.00	0.19	0.17	0.00	0.00
12/01 04:00:00	65.43	45.12	0.00	0.00	13.50	52.00	0.00	0.19	0.16	0.00	0.00
12/01 05:00:00	72.56	42.80	0.00	0.00	20.05	53.00	0.00	0.22	0.25	0.00	0.00
12/01 06:00:00	70.45	52.74	0.00	0.00	16.66	54.00	0.00	0.20	0.17	0.00	0.00
12/01 07:00:00	53.03	37.60	0.00	0.00	0.00	53.03	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00
12/01 08:00:00	53.33	59.21	0.00	0.00	0.00	53.33	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00
12/01 09:00:00	131.60	101.03	44.64	72.00	53.00	6.60	0.00	0.47	0.21	0.00	0.00
12/01 10:00:00	137.17	111.91	44.64	72.00	22.27	43.00	0.00	0.38	0.08	0.08	0.00
12/01 11:00:00	138.39	96.88	44.64	72.00	29.88	37.00	0.00	0.40	0.12	0.08	0.00
12/01 12:00:00	123.29	118.71	44.64	72.00	20.48	31.00	0.00	0.38	0.07	0.08	0.00
12/01 13:00:00	163.21	84.97	44.64	72.00	53.00	38.21	0.00	0.44	0.23	0.11	0.00
12/01 14:00:00	108.31	100.31	44.64	72.00	0.00	36.31	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00
12/01 15:00:00	91.76	99.30	44.64	72.00	0.00	19.76	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00
12/01 16:00:00	104.73	100.44	44.64	72.00	0.00	32.73	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00
12/01 17:00:00	88.27	90.61	44.64	72.00	0.00	16.27	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00
12/01 18:00:00	56.53	107.77	0.00	0.00	0.00	56.53	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00
12/01 19:00:00	56.23	68.89	0.00	0.00	0.00	56.23	0.00	0.13	0.65	0.00	76.20
12/01 20:00:00	56.46	36.92	0.00	0.00	0.00	56.46	0.00	0.10	1.10	0.00	76.20
12/01 21:00:00	57.39	34.83	0.00	0.00	0.00	57.39	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
12/01 22:00:00	57.05	37.47	0.00	0.00	0.00	57.05	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00
12/01 23:00:00	55.65	33.02	0.00	0.00	0.00	55.65	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00

Çizelge 4.25. Kış örnek güne ait rapor çıktısı, 2

<i>Tarih/Saat</i>	<i>To</i> (°C)	<i>Po</i> (kPa)	<i>RHo</i>	<i>Vwo</i> (m/s)	<i>WD</i> °	<i>GR</i> W/m ²	<i>Tpgy</i> (°C)	<i>Tpcy</i> (°C)	<i>Tsgy</i> (°C)	<i>Tscy</i> (°C)	<i>Tmy</i> (°C)	<i>Hy</i> (kWh)	<i>dsy</i> (kWh)
11/30 24:00:00	7	894	93.8	1.7	198	0	62.0	62.2	61.7	62.3	61.7	135.95	3.37
12/01 01:00:00	7.1	893.8	95.6	0.9	284	0	62.3	62.3	61.8	62.5	62.0	139.21	3.84
12/01 02:00:00	7.2	893.8	94.4	0.3	297	0	62.2	62.5	62.1	62.5	61.9	138.63	2.38
12/01 03:00:00	7.5	893.8	93.2	1.1	280	0	62.3	62.5	61.8	62.3	61.8	137.58	3.08
12/01 04:00:00	7.1	893.9	95.4	1.2	334	0	62.2	62.4	61.8	62.1	61.7	135.72	1.57
12/01 05:00:00	7	893.8	94.9	0.3	343	0	62.2	62.4	61.8	62.2	61.7	135.84	2.27
12/01 06:00:00	6.9	893.9	94.3	1.2	238	0	62.2	62.3	61.7	62.0	61.5	133.74	1.45
12/01 07:00:00	7.2	894	90.8	0	286	3.8	62.2	62.2	61.6	61.9	61.6	134.79	1.74
12/01 08:00:00	7.1	894.6	89.8	2	248	29.5	62.0	62.2	61.7	62.0	61.6	134.79	2.04
12/01 09:00:00	7.5	894.9	87.4	2	263	73.7	61.7	62.0	61.4	62.0	61.4	132.93	3.66
12/01 10:00:00	8.8	895.1	82.8	1.7	276	192.8	57.2	57.1	56.4	56.9	56.4	74.2	3.02
12/01 11:00:00	7.8	895	87.7	1.7	266	156.8	57.6	57.9	56.8	57.4	57.0	80.94	3.37
12/01 12:00:00	8.2	894.7	85.2	1.7	282	142.7	58.3	58.4	57.6	57.6	57.2	83.39	0.12
12/01 13:00:00	9.1	894.2	81.6	2.7	320	297.9	59.0	58.6	57.7	57.5	57.2	83.5	-0.99
12/01 14:00:00	8.8	894.3	81.8	2.4	306	15.8	58.1	58.2	57.5	58.3	57.8	90.13	4.88
12/01 15:00:00	8.8	894.4	83.7	2.7	299	11.2	60.3	60.0	58.9	59.0	58.5	98.97	0.23
12/01 16:00:00	8	894.8	90.6	2.3	279	7.2	58.5	58.4	57.1	58.1	57.7	89.09	5.82
12/01 17:00:00	8.1	895.2	90.5	0	272	0	60.1	59.8	58.8	59.0	58.5	98.51	0.7
12/01 18:00:00	8	895.8	92.7	1.4	247	0	62.3	62.4	61.6	62.3	61.8	137.35	4.3
12/01 19:00:00	7.8	896.1	94.3	0	287	0	62.2	62.1	61.5	61.7	61.3	131.07	1.22
12/01 20:00:00	7.1	896.3	95.7	2.4	312	0	61.9	62.0	61.4	61.7	61.3	131.07	1.45
12/01 21:00:00	6.7	896.2	88.7	0.8	89	0	61.8	61.9	61.4	61.8	61.3	131.07	2.38
12/01 22:00:00	6.6	896.2	82.2	0	93	0	61.9	62.0	61.6	61.8	61.2	130.02	0.99
12/01 23:00:00	6.8	896.3	83.9	0	135	0	62.2	62.1	61.6	61.8	61.3	131.19	0.76

Çizelge 4.26. Kış örnek güne ait rapor çıktısı, 3

Tarih/Saat	T _{ymin} (°C)	T _{ymax} (°C)	T _{dmin} (°C)	T _{dmax} (°C)	T _{smin} (°C)	T _{smax} (°C)	Q _{dy} (kWh)	Q _{dd} (kWh)	Q _{ds} (kWh)	V _y (m ³)	V _d (m ³)	V _s (m ³)
11/30 24:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 01:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 02:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 03:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 04:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 05:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 06:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 07:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 08:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 09:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 10:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 11:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 12:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 13:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 14:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 15:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 16:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 17:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 18:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 19:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 20:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 21:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 22:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00
12/01 23:00:00	50.00	70.00	40.00	50.00	13.00	8.00	232.60	58.15	0.00	10.00	5.00	5.00

Raporun üçüncü, dördüncü ve beşinci sayfasında yer alan veriler, kullanıcı tarafından girilen ve binada yer alan cihazların kapasite değerlerine ait bilgilerdir. Son iki sayfada ise oluşturulan algoritmaya göre yapılmış saatlik hesaplamalar yer almaktadır. Binanın o saat dilimindeki yük talebi, talebin en akılcı şekilde hangi arz noktaları tarafından ve ne miktarda karşılandığı ile o saat dilimindeki performanslar görülmektedir.

Çizelge 4.27. Kış örnek güne ait rapor çıktısı, 4

<i>Tarih /Saat</i>	<i>mpyw</i> (kg/h)	<i>mpdw</i> (kg/h)	<i>mpsw</i> (kg/h)	<i>msyw</i> (kg/h)	<i>msdw</i> (kg/h)	<i>mssw</i> (kg/h)	<i>Pd</i> (TL/kg)	<i>P_{ep}</i> (TL/kWh)	<i>P_{eg}</i> (TL/kWh)	<i>P_{eu}</i> (TL/kWh)	<i>E_{BIGmax}</i> (kW)	<i>H_{BIGmax}</i> (kW)	<i>C_{IPh}</i> (kW)	<i>C_{IPc}</i> (kW)
11/30 24:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 01:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 02:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 03:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 04:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 05:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 06:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 07:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 08:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 09:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 10:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 11:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 12:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 13:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 14:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 15:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 16:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 17:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 18:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 19:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 20:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 21:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 22:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61
12/01 23:00:00	10,000	5,000	5,000	5,000	4,000	4,000	0.09	0.31	0.31	0.31	50	81	53	61

Çizelge 4.28. Kış örnek güne ait rapor çıktısı, 5

Tarih/Saat	ABSc (kW)	COPabs	CH _{1c} (kW)	COP _{CH1} (kW)	CH _{2c} (kW)	COP _{CH2} (kW)	Hbt (kW)	T _{melt} (°C)	η _{1k} (%)	η _{1i} (%)	Epsilon	Yükseklik (m)	ITK	STK
11/30 24:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 01:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 02:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 03:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 04:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 05:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 06:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 07:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 08:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 09:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 10:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 11:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 12:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 13:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 14:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 15:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 16:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 17:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 18:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 19:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 20:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 21:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 22:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50
12/01 23:00:00	45	0.65	268.97	2.65	0.00	0.00	500	8.00	0.90	0.90	0.75	1,071	3.69	2.50

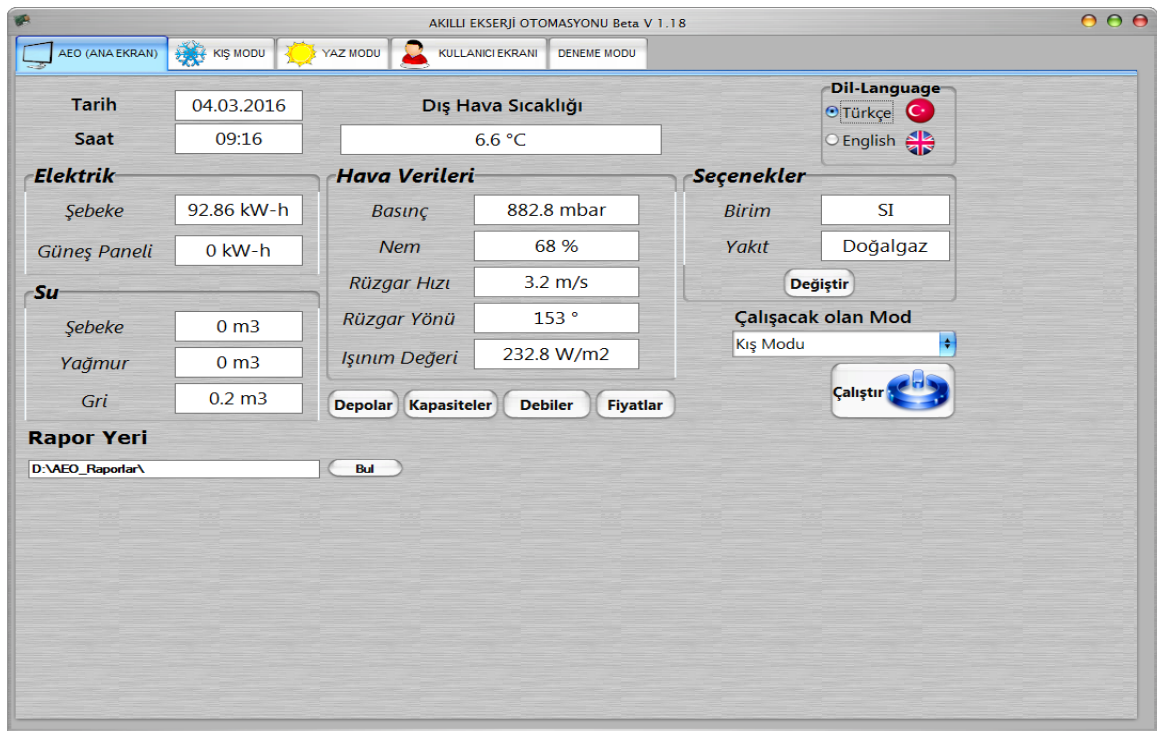
Çizelge 4.29. Kış örnek güne ait rapor çıktısı, 6

Tarih/Saat	T_{pgd} (°C)	T_{pcd} (°C)	T_{sgd} (°C)	T_{scd} (°C)	T_{md} (°C)	H_d (kWh)	d_{sd} (kWh)	Güç/Isı Oranı (%)	Düzeltilmiş E_{BIGmax} (kW)	Düzeltilmiş H_{BIGmax} (kW)	η_{th} (%)	η_{1e} (%)	η_{1t} (%)	BIG Kapasite Faktörü	BIG Hesap (kW)
11/30 24:00:00	50.3	48.7	46.8	47.4	46.9	40.18	2.65	0.62	44.64	00	0.55	0.34	0.89	0.93	00
12/01 01:00:00	50.2	48.7	45.6	47.3	47.1	41.11	8.14	0.62	44.64	00	0.56	0.35	0.91	0.97	00
12/01 02:00:00	50.6	49.4	46.0	48.7	48.3	48.26	12.65	0.62	44.64	00	0.56	0.35	0.91	0.98	00
12/01 03:00:00	50.4	49.0	45.6	48.2	47.8	45.24	12.14	0.62	44.64	00	0.55	0.34	0.89	0.92	00
12/01 04:00:00	50.4	49.1	45.4	48.2	47.9	46.05	13.03	0.62	44.64	00	0.56	0.35	0.91	1.00	00
12/01 05:00:00	50.3	48.9	44.5	48.3	47.6	44.19	17.72	0.62	44.64	00	0.56	0.35	0.91	0.96	00
12/01 06:00:00	50.4	48.9	45.1	48.2	47.6	44.14	14.28	0.62	44.64	00	0.56	0.35	0.91	1.00	00
12/01 07:00:00	50.9	50.2	49.6	49.5	49.8	57.05	-0.56	0.62	44.64	00	0.55	0.34	0.89	0.89	00
12/01 08:00:00	50.5	49.4	48.3	48.5	48.3	48.5	0.98	0.62	44.64	00	0.56	0.35	0.91	1.00	00
12/01 09:00:00	49.3	46.6	36.0	45.5	42.8	16.11	44.38	0.62	44.64	72	0.56	0.35	0.91	1.00	72
12/01 10:00:00	50.7	47.7	44.0	45.1	45.1	29.6	5.35	0.62	44.64	72	0.56	0.35	0.91	1.00	72
12/01 11:00:00	49.9	46.1	42.6	45.5	45.2	30.18	13.54	0.62	44.64	72	0.56	0.35	0.91	1.00	72
12/01 12:00:00	48.9	46.9	44.4	45.3	45.2	30.18	4.14	0.62	44.64	72	0.56	0.35	0.91	1.00	72
12/01 13:00:00	48.7	46.4	37.7	45.2	43.4	19.65	34.75	0.62	44.64	72	0.56	0.35	0.91	1.00	72
12/01 14:00:00	50.1	48.0	46.6	45.7	46.0	34.95	-4.09	0.62	44.64	72	0.56	0.35	0.91	1.00	72
12/01 15:00:00	50.1	47.9	47.3	45.3	45.6	32.8	-9.30	0.62	44.64	72	0.56	0.35	0.91	1.00	72
12/01 16:00:00	49.5	48.0	47.8	45.6	45.9	34.37	-10.23	0.62	44.64	72	0.56	0.35	0.91	1.00	72
12/01 17:00:00	49.6	48.4	48.2	46.2	46.5	37.68	-9.21	0.62	44.64	72	0.56	0.35	0.91	1.00	72
12/01 18:00:00	49.3	47.7	47.5	45.7	46.0	34.83	-8.19	0.62	44.64	00	0.56	0.35	0.91	1.00	00
12/01 19:00:00	51.1	49.8	51.1	47.9	48.6	50.18	-14.89	0.62	44.64	00	0.56	0.35	0.91	1.00	00
12/01 20:00:00	50.9	50.2	48.4	49.8	49.7	56.46	6.70	0.62	44.64	00	0.55	0.34	0.89	0.88	00
12/01 21:00:00	51.0	50.3	50.0	50.0	50.3	59.66	-0.33	0.62	44.64	00	0.55	0.33	0.88	0.83	00
12/01 22:00:00	50.8	50.0	49.3	49.7	49.6	55.88	2.09	0.62	44.64	00	0.55	0.34	0.89	0.89	00
12/01 23:00:00	51.2	50.5	49.8	50.2	50.3	59.78	1.58	0.62	44.64	00	0.55	0.32	0.87	0.78	00

Çizelge 4.30. Kış örnek 1 güne ait rapor çıktısı, 7

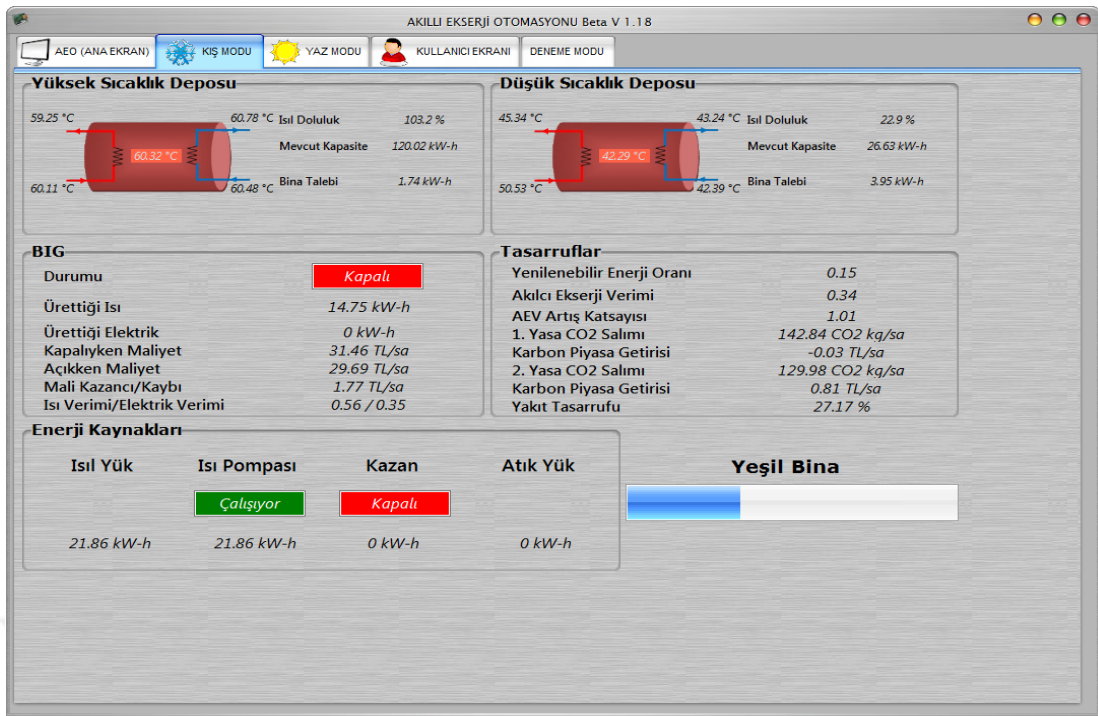
Tarih/Saat	IP Hesap (kWh)	Kazan Hesap (kWh)	Talep edilen Toplam Isı yükü (kWh)	Atık Isı Yükü (kWh)	BIG kapalı Isı ve Güç Maliyeti (TL/h)	BIG açık Isı ve Güç Maliyeti (TL/h)	BIG Mali Kazancı (TL/h)	BIG Yakıt Tasarrufu (%)	AEV	AEVK	1. Yasa CO ₂ Salımı (CO ₂ kg/h)	1. Yasa Karbon Piyasa Getirisi (TLh)	2. Yasa CO ₂ Salımı (CO ₂ kg/h)	2. Yasa Karbon Piyasa Getirisi (TL/h)
11/30 24:00:00	0	62.49	62.49	0	19.12	10.54	8.58	25.45	0.10	-0.04	75.41	0.00	75.41	0.00
12/01 01:00:00	13.55	51.00	64.26	0	19.91	10.60	9.31	27.17	0.19	0.82	75.78	0.19	71.99	0.44
12/01 02:00:00	10.91	50.00	60.74	0	19.67	10.28	9.39	27.17	0.18	0.68	76.09	0.16	73.05	0.35
12/01 03:00:00	13.42	52.00	65.00	0	19.28	10.76	8.52	25.45	0.19	0.86	72.61	0.19	68.98	0.42
12/01 04:00:00	13.50	52.00	65.43	0	20.53	10.97	9.56	27.17	0.19	0.80	78.40	0.19	75.26	0.40
12/01 05:00:00	20.05	53.00	72.56	0	20.52	11.36	9.16	27.17	0.22	1.21	75.19	0.28	70.68	0.58
12/01 06:00:00	16.66	54.00	70.45	0	23.39	13.83	9.56	27.17	0.20	0.84	90.13	0.24	85.62	0.53
12/01 07:00:00	0	53.03	53.03	0	16.96	9.49	7.47	25.45	0.11	0.03	67.49	0.00	67.49	0.00
12/01 08:00:00	0	53.33	53.33	0	23.69	14.13	9.56	27.17	0.12	-0.03	99.57	0.00	99.57	0.00
12/01 09:00:00	53	6.60	131.60	0	44.48	34.92	9.56	27.17	0.47	2.79	176.86	4.43	145.03	6.50
12/01 10:00:00	22.27	43.00	137.17	0	48.41	38.85	9.56	27.17	0.38	2.03	201.06	4.00	172.91	5.83
12/01 11:00:00	29.88	37.00	138.39	0	50.69	41.13	9.56	27.17	0.40	2.31	177.46	4.10	150.84	5.83
12/01 12:00:00	20.48	31.00	123.29	0	56.26	46.70	9.56	27.17	0.38	1.90	208.47	3.97	181.37	5.73
12/01 13:00:00	53.00	38.21	163.21	0	49.79	40.23	9.56	27.17	0.44	2.97	160.09	4.44	132.87	6.21
12/01 14:00:00	0	36.31	108.31	0	49.06	39.50	9.56	27.17	0.36	1.74	182.39	3.67	160.5	5.09
12/01 15:00:00	0	19.76	91.76	0	47.09	37.53	9.56	27.17	0.38	1.76	177.22	3.67	154.18	5.16
12/01 16:00:00	0	32.73	104.73	0	48.74	39.18	9.56	27.17	0.37	1.78	181.79	3.67	158.16	5.20
12/01 17:00:00	0	16.27	88.27	0	44.05	34.49	9.56	27.17	0.40	1.92	163.57	3.67	140.67	5.16
12/01 18:00:00	0	56.53	56.53	0	46.19	36.63	9.56	27.17	0.14	-0.03	172.22	0.00	172.22	0.00
12/01 19:00:00	0	56.23	56.23	0	26.98	17.42	9.56	27.17	0.13	0.01	114.55	0.00	114.55	0.00
12/01 20:00:00	0	56.46	56.46	0	17.09	9.76	7.33	25.45	0.00	-0.03	67.24	0.00	67.24	0.00
12/01 21:00:00	0	57.39	57.39	0	16.54	9.92	6.62	24.36	0.10	0.00	64.35	0.00	64.35	0.00
12/01 22:00:00	0	57.05	57.05	0	17.32	9.88	7.44	25.45	0.10	-0.03	68.19	0.00	68.19	0.00
12/01 23:00:00	0	55.65	55.65	0	15.80	9.53	6.27	23.25	0.10	0.00	61.29	0.00	61.29	0.00

Yüksek Performans binasının ekserji tabanlı optimum sistem kontrol algoritması ile işletilmesi sırasında alınan anlık arayüz görsellerinden örnekler aşağıda verilmiştir. Şekil 4.29'da Meteorolojik Veri Bankası girdilerinin yer aldığı ana ekran arayüzü görülmektedir. Dış hava sıcaklığı, Basınç, Nem, Rüzgâr Hızı, Rüzgâr Yönü ve Güneş Işınımı anlık değerleri ile o anda şebekeden çekilen Elektrik Gücü ile PV panellerin ürettiği elektrik miktarının yer aldığı arayüzde aynı zamanda birim, dil, yakıt türü ve mod seçimi ile anlık kapasite ve fiyat bilgileri de görülmektedir.



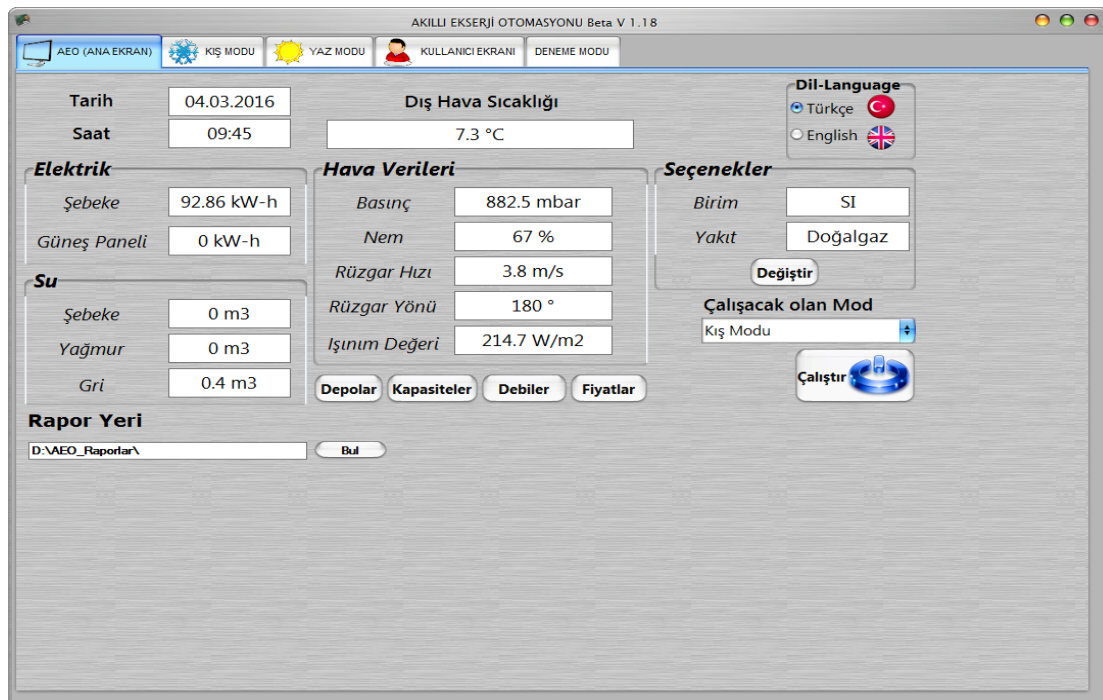
Şekil 4.29. Örnek ekran görseli, kış 4.3.2016, saat 9:16

Şekil 4.30'da o andaki (Şekil 4.29 ile aynı saat) cihaz performansları ile tasarruf bilgilerinin yer aldığı kış modu arayüz çıktısı verilmiştir. Bu görselde, enerji depolarının mevcut kapasiteleri, doluluk oranları, binanın o an talep ettiği ısıl yük, bu ısıl yükün o an hangi cihazlardan ve ne kadar karşılandığı, ne kadarının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılandığı, sistemin o anki Akılcı Ekserji Yönetim Verimi, Akılcı Ekserji Verimi Artış katsayısı, birinci ve ikinci yasaya göre CO₂ salımları ile karbon piyasa getirileri, baz binaya göre yakıt tasarruf oranları ve Akılcı ekserji yönetim verimine göre Yeşil Bina olup olmadığı ya da yeşil binaya yaklaşımı izlenebilmektedir.

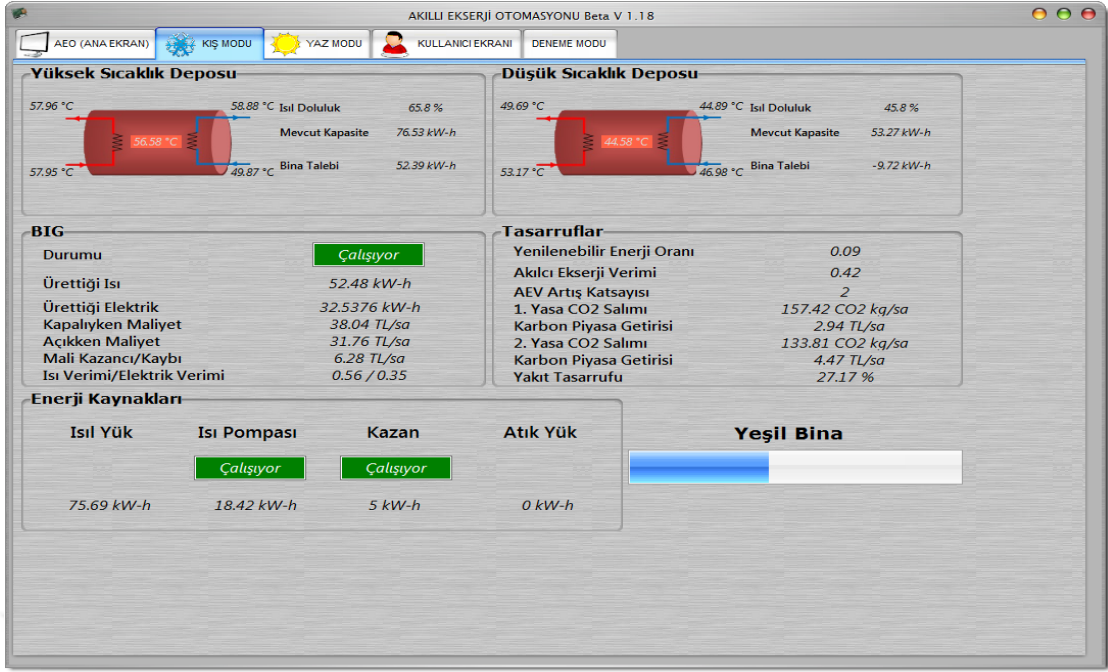


Şekil 4.30. Örnek arayüz görseli, saat 9:16

Şekil 4.31 ve 4.32’de aynı günün yarım saat sonrasına ait arayüz görselleri verilmiştir. Bu görsellerde, BIG’in ve Isı Pompasının devrede olduğu, Akılcı Ekserji Veriminin de 0.42’ye yükseldiği görülmektedir.

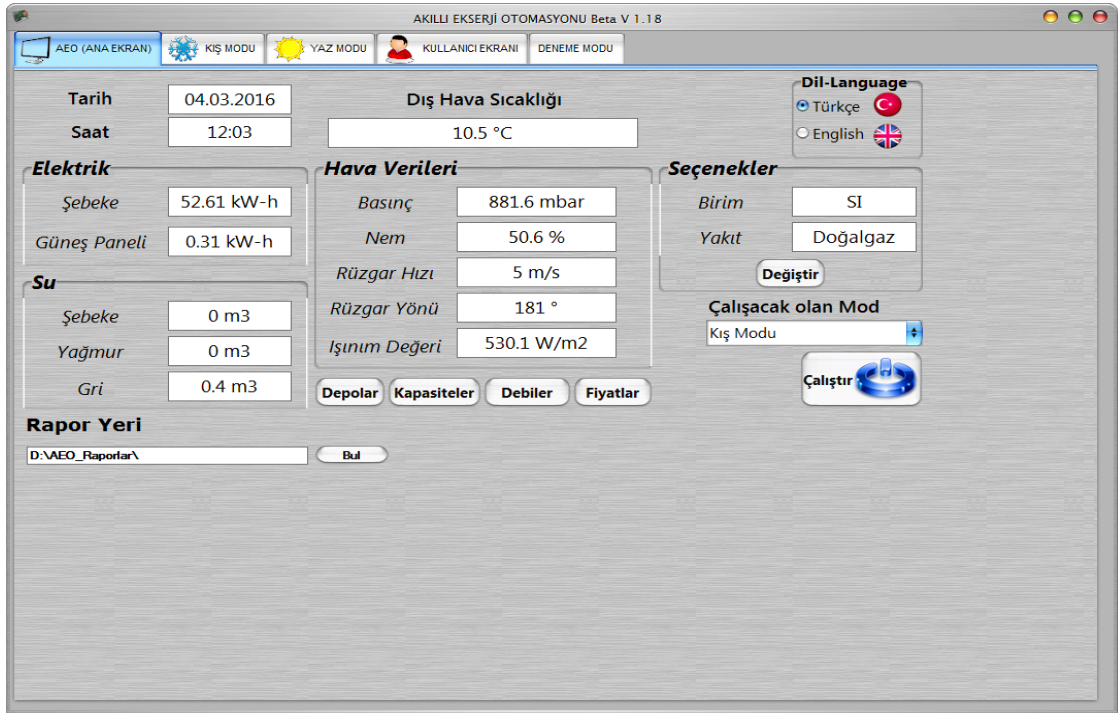


Şekil 4.31. Örnek ekran görseli, kış işletmesi 4.3.2016, saat 9:45

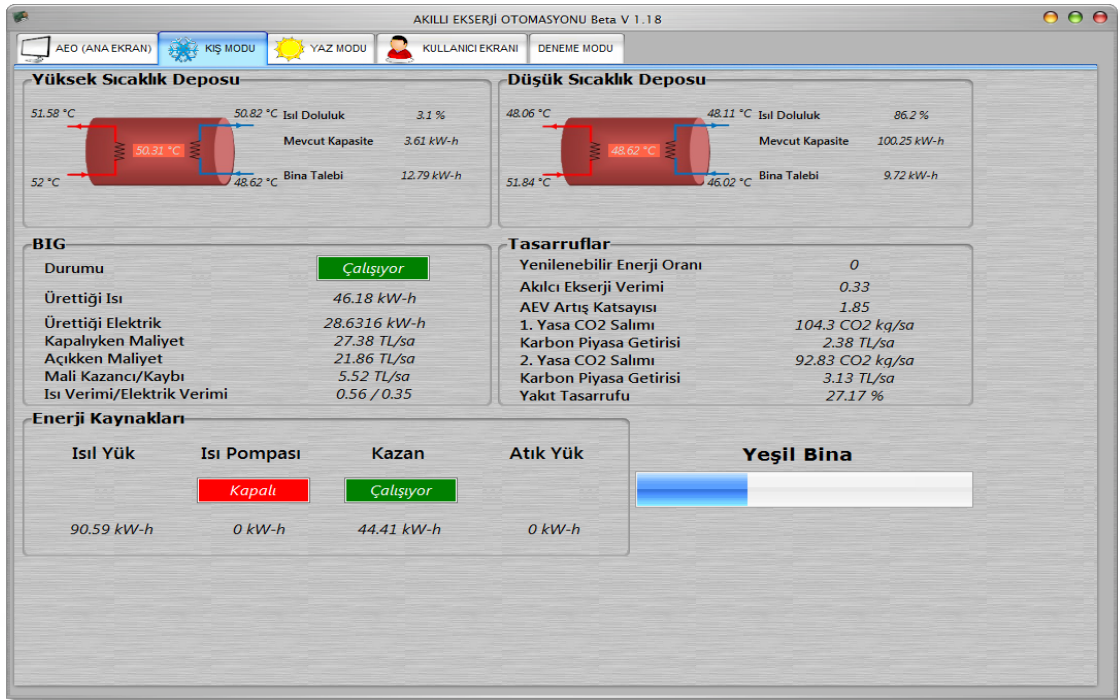


Şekil 4.32. Örnek arayüz görseli, 4.3.2016, saat 9:45

Şekil 4.33 ve 4.34'de yine aynı gün saat 12:03'de alınmış görseller mevcuttur. O andaki bina talebinin BIG ve doğalgaz kazanı tarafından karşılandığı, Akılcı Ekserji Yönetim Veriminin ise 0.33 olduğu görülmektedir.

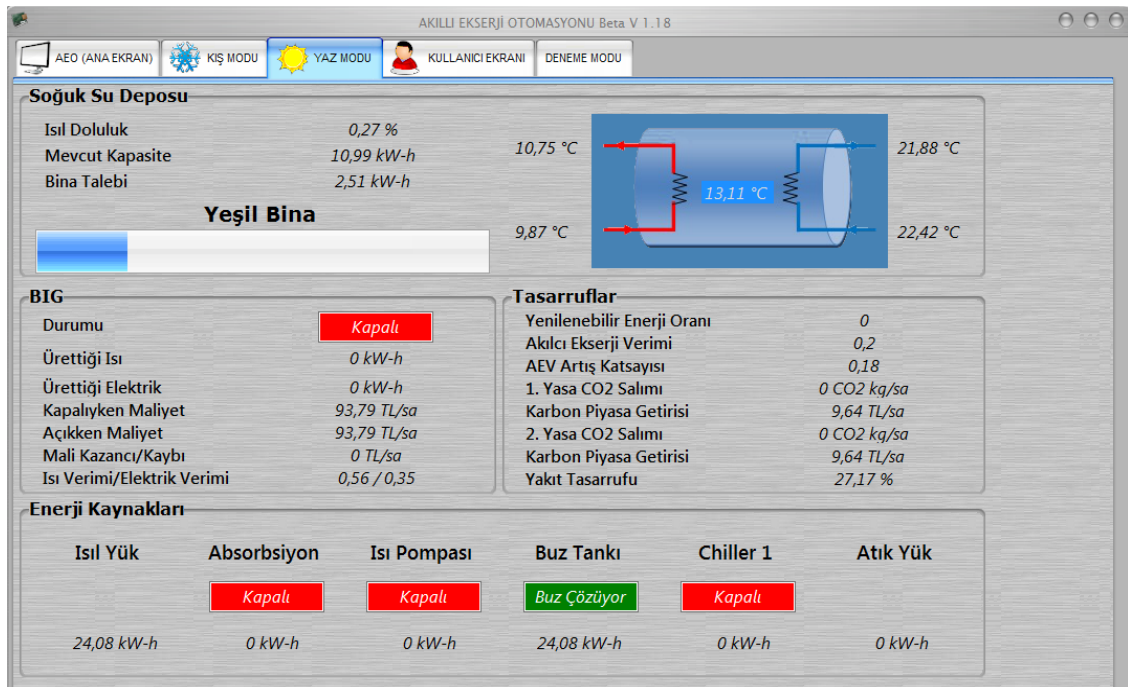


Şekil 4.33. Örnek ekran görseli, kış işletmesi 4.3.2016, saat 12:03



Şekil 4.34. Örnek arayüz görseli, saat 12:03

Çizelge 4.31’de yaz işletmesinden örnek güne ait çıktının ilk bölümü, Şekil 4.35, 4.36 ve 4.37’de ise yaz modundan alınan üç ayrı örnek arayüz görseli verilmiştir.



Şekil 4.35. Yaz işletmesi örnek arayüz görseli

Şekil 4.35'deki örnekte bina soğutma talebinin sadece buz tankı tarafından karşılandığı görülmektedir.

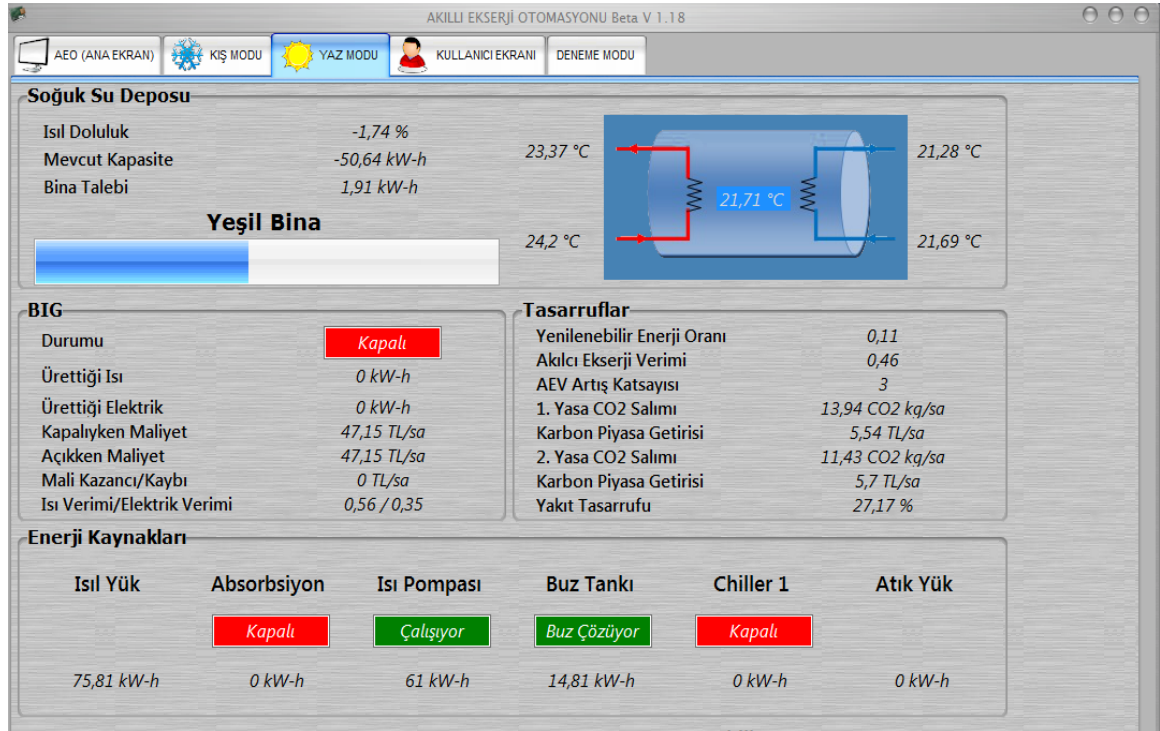
Çizelge 4.31. Yaz örnek güne ait rapor çıktısı, anlık bina yük talepleri

Tarih /Saat	Toplam Soğutma Yüğü (kWh)	Toplam Elektrik (kWh)	BIG Güç (kW)	BIG Isı Yüğü (kWh)	ABS Soğutma Yüğü (kWh)	IP Soğutma Yüğü (kWh)	Buz Deposu Soğutma Yüğü (kWh)	Soğutma Grubu 1 S. Yüğü (kWh)	Atık Isı (kWh)	AEV Ψ	YEO (%9)
00:00	15.33	20.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00
01:00	15.34	16.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00
02:00	14.5	19.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00
03:00	32.19	32.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00
04:00	42.41	20.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00
05:00	50.3	16.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00
06:00	52.68	16.42	0.00	0.00	0.00	52.68	0.00	0.00	0.00	0.62	0.31
07:00	53.8	18.37	0.00	0.00	0.00	53.8	0.00	0.00	0.00	0.61	0.29
08:00	53.8	36.26	0.00	50.76	31.47	20.81	0.00	0.00	0.00	0.49	0.07
09:00	53.75	55.67	0.00	72.00	45.00	8.75	0.00	0.00	0.00	0.45	0.02
10:00	8.06	61.46	0.00	0.00	0.00	8.06	0.00	0.00	0.00	0.26	0.02
11:00	32.28	71.22	0.00	0.00	0.00	32.28	0.00	0.00	0.00	0.37	0.06
12:00	50.7	63.56	0.00	72.00	45.00	5.7	0.00	0.00	0.00	0.43	0.01
13:00	52.42	50.92	0.00	72.00	45.00	7.42	0.00	0.00	0.00	0.45	0.02
14:00	54.61	67.55	0.00	72.00	45.00	9.61	0.00	0.00	0.00	0.43	0.02
15:00	52.41	72.2	0.00	72.00	45.00	7.41	0.00	0.00	0.00	0.42	0.01
16:00	34.17	74.03	0.00	0.00	0.00	34.17	0.00	0.00	0.00	0.37	0.06
17:01	39.67	71.72	44.64	0.00	0.00	39.67	350	0.00	0.00	0.45	0.05
18:00	48.36	76.51	44.64	72.00	45.00	3.36	350	0.00	0.00	0.45	0.00
19:00	45.28	25.81	39.54	36.13	23.48	21.8	350	0.00	0.00	0.54	0.04
20:00	41.78	22.75	38.26	31.85	20.71	21.07	350	0.00	0.00	0.55	0.04
21:00	39.68	21.1	38.26	29.53	19.2	20.48	350	0.00	0.00	0.55	0.04
22:00	37.59	19.27	0.00	0.00	0.00	37.59	350	0.00	0.00	0.56	0.21
23:00	36.28	19.92	0.00	0.00	0.00	0.00	400	0.00	0.00	0.20	0.00

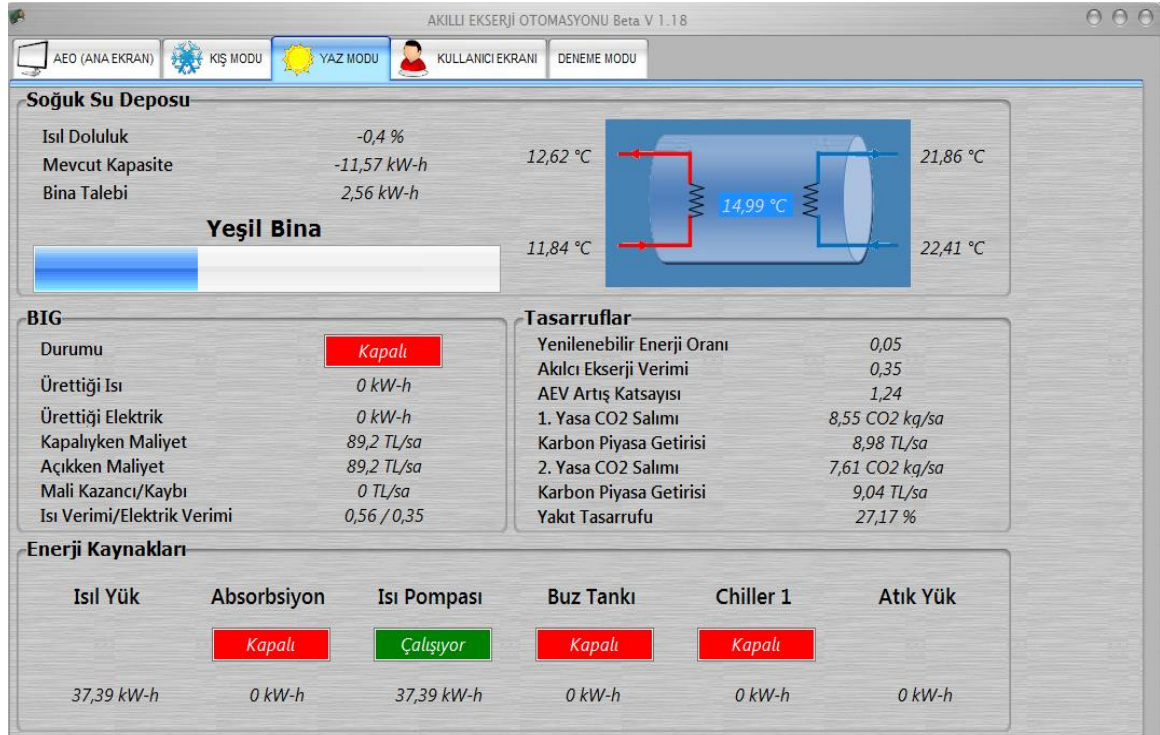
Şekil 4.36'da buz tankı ile birlikte ısı pompasının da devreye girdiği, üçüncü örnekte ise sadece Isı Pompasının bina soğutma yükünü karşıladığı görülmektedir.

Arayüz görsellerinin tasarruflar bölümünde yer alan kıyaslamalarda, ekli performans parametrelerinin tanımında da belirtildiği üzere baz bina referans olarak alınmıştır. Söz gelimi Akılcı ekserji verimi artış katsayısı baz binaya göre artışı tanımlamaktadır.

Akılcı ekserji yönetim veriminin yaz-kış örnek bir gün için saatlik değişimini gösterir grafikler ise EK-5’de verilmiştir.



Şekil 4.36. Yaz işletmesi örnek arayüz görseli



Şekil 4.37. Yaz işletmesi örnek arayüz görseli

4.9. Sonuçların Alışılmış (mevcut) Yeşil Bina Otomasyonu ile Kıyaslanması

LEED Platin Sertifikalı Yeşil Bina, tüm sistemsel koşullar aynı kalmak şartıyla, bir yıllık süre boyunca alışılmış algoritmayla, ikinci bir yıllık bir süre boyunca da ekserji tabanlı optimum sistem kontrol algoritması ile işletilmiştir.

Binanın her iki algoritma ile işletildiği dönemlerdeki enerji tüketimleri aylık elektrik ve doğalgaz faturaları ile ayrı ayrı kayıt altına alınmış olup EK-6 ve EK-7’de verilmiştir.

Her iki yılın elektrik ve doğal gaz tüketimlerini eşbazda kıyaslayabilmek için; binanın ekserji tabanlı optimum sistem kontrol algoritması (2014 yılı) ve alışılmış algoritma (2012 yılı) ile işletildiği yılların HDD / CDD verileri kullanılarak, aylık ortalama dış hava sıcaklıkları ortak iklim tabanında hesaplanmış ve iklime bağlı olan tüketim değerleri ekserji tabanında normalleştirilmiştir (Azevedo, 2015).

4.9.1. Dış hava sıcaklıklarının ortak iklim tabanında hesaplanması

Binanın bulunduğu ilin (Ankara) 2012 ve 2014 yıllarına ait Isıtma Gün Derece (HDD) ve Soğutma Gün Dereceleri (CDD) çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.32. 2012 ve 2014 yılları için Ankara aylık HDD/CDD değerleri

		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
2012	HDD	562	578	445	112	14					37	256	417
	GÜN	31	29	31	19	4					9	27	31
	CDD						69	145	57	30	7		
	GÜN						22	28	25	15	3		
2014	HDD	462	339	305	129	51	11			28	133	312	380
	GÜN	31	28	31	20	11	3			6	23	30	31
	CDD					0	11	112	113	28			
	GÜN					1	7	28	31	7			

Çizelge 4.32 ve aşağıda verilen gün derece hesap tanımları (www.mgm.gov.tr) kullanılarak 2012 ve 2014 yılları için Ankara aylık ortalama sıcaklıkları elde edilmiş olup çizelge 4.33’de verilmiştir.

$$\text{HDD} = (18 \text{ }^{\circ}\text{C} - T_m) \times \text{değer} \quad T_m \leq 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (ısıtma)}$$

$$\text{CDD} = (T_m - 22) \times \text{değer} \quad T_m > 22 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (soğutma)}$$

Çizelge 4.33. Ankara aylık ortalama sıcaklıklar 2012 ve 2014 yılları

Yıl	T _m	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Agustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
											22.0		
2012	°C	-0.1	-1.9	3.6	12.1	14.5	25.1	27.2	24.3	24.0	13.9	8.5	4.5
2014	°C	3.1	5.9	8.2	11.6	13.4	23.6	26.0	25.6	13.3	12.2	7.6	5.7
						22.0	14.3			26.0			

4.9.2. 2014 yılı doğalgaz tüketiminin 2012 yılına normalize edilmesi

Binada sadece yoğuşmalı kazanda ve kojenerasyon cihazında (BIG) doğalgaz kullanılmaktadır.

Binada kurulu kojenerasyon cihazının karakteristik özellikleri çizelge 4.34’de verilmiş olup, tam yükte 50 kW elektrik gücü üretirken, 81 kW da atık ısı üretmektedir. Kojenerasyon cihazı elektrik yükü takipli olarak devreye girip çıkmaktadır. Burada üretilen elektrik ısı pompasının işletilmesinde kullanılmaktadır. Bu, mevsime bağlı olarak normalize edilen güç miktarının kojenerasyon tesisi tarafından üretilen ve ısı veya soğuk üretmek için toprak kaynaklı ısı pompasına iletilen güçle sınırlandırıldığı anlamına gelir.



Çizelge 4.34. Birleşik ısı ve güç sistemi (BIG)’ın teknik özellikleri

BIG (Birleşik Isı ve Güç Sistemi)	
Model	ESS EM -50781 DN-50 model *
Güç	50 kW , $\eta_E = 0.34$ for 100 % yük
Isı	81 kW , $\eta_H = 0.55$ for 100 % yük
Güç/Isı Oranı	0.62

*ESS (2008)

BIG, baz yükte (BL) ortalama olarak günde 12 saat, ayda 20 gün, elektrik yükü takibi ile çalışmaktadır. 81 kW gücünde sabit ortalama doğal gaz talebi aşağıdaki gibi hesaplanır ve elektriğe bağlı olduğu için sabittir. Yani iklimden bağımsızdır.

Aylık ortalama sabit doğalgaz talebi (kWh):

$$Q_{BIG} \times BL \times h/gün \times gün/ay/\eta_H \quad (4.43)$$

$$81kW \times 0.6 \times 12 h/gün \times 20 gün/ay/0.55 = 21,207 kWh/ay$$

$$Q_{normalize} = (Q_{ay} - 21,207) \times \left(\frac{HDD_{2012}}{HDD_{2014}} \right) + \frac{21,207}{\eta_H} \quad (4.44)$$

2012 ve 2014 yılları için ortalama sıcaklıklar, binanın alışımlı algoritma ile işletildiği 2012 yılındaki aylık doğalgaz tüketimleri (kWh) (EK-6) ve binanın ekserji tabanlı algoritma ile işletildiği 2014 yılındaki aylık doğalgaz tüketimlerinin (EK-7) 2012 yılına normalize edilmiş hali Çizelge 4.35’de verilmiştir. 2014 yılı değerlerinin 2012 yılına normalize edilmesinde denklem 4.44 kullanılmıştır.

Çizelge 4.35. Ortak iklim tabanında 2012 ve 2014 yılları aylık doğalgaz tüketimleri

Aylar	Aylık Ortalama Sıcaklık		Doğalgaz Tüketimi		
	2012 °C	2014 °C	2012 [kWh]	2014 [kWh]	2012’ye normalize edilmiş 2014 [kWh]
Ocak	-0.1	3.1	102,328	90,876	105,956
Şubat	-1.9	5.9	127,562	68,785	102,328
Mart	3.6	8.2	103,873	36,700	43,811
Nisan	12.1	11.6	26,846	44,165	41,140
Mayıs	14.5	13.4	17,443	30,185	23,672
Haziran	25.1	14.3	11,677	9,451	-41,048
Temmuz	27.2	26.0	13,231	3,147	-2,174
Ağustos	24.3	25.6	5,834	2,197	11,618
Eylül	24.0	26.0	0	1,929	20,725
Ekim	13.9	12.2	2,725	5,363	16,799
Kasım	8.5	7.6	28,391	29,629	28,117
Aralık	4.5	5.7	59,363	43,464	45,631
Toplam			488,042	360,815	396,575
Ekserji tabanında Toplam			417,996	310,301	341,055

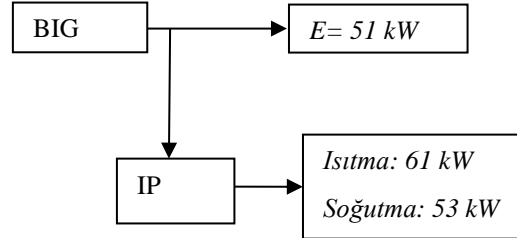
2012 Binanın Alışımlı (Geleneksel Algoritma) ile İşletildiği Yıl

2014 Binanın Ekserji Tabanlı Optimum Sistem Algoritması ile İşletildiği Yıl

*Hem ısıtma hem soğutmanın olduğu Haziran ve Eylül aylarında yük oranı kullanılmıştır.

4.9.3. 2014 yılı elektrik tüketiminin 2012 yılına normalize edilmesi

Binada kullanılan toprak kaynaklı ısı pompası (IP), 12 ay boyunca iklime bağlı çalışmaktadır ve karakteristik özellikleri çizelge 4.36’da verilmiştir.



Çizelge 4.36. Toprak kaynaklı ısı pompasının (IP) teknik özellikleri

IP (Toprak Kaynaklı Isı Pompası)	
Model	Buderus WPW 67R
Isıtma Kapasitesi	61 kW
Soğutma Kapasitesi	53 kW
COP	3.24

Isı pompası ortalama olarak günde 20 saat, ayda 20 gün çalışmaktadır. Buna göre normalize edilecek aylık güç miktarı;

$$E_{normalize} = E_{ay} - E_{IP} + E_{IP} \times \left(\frac{HDD_{2012}}{HDD_{2014}} \right) \quad (4.45)$$

Düzeltilmesi gereken güç miktarı

$$E_{IP} = \left(\frac{(Q_H \times HDD) + (Q_C \times CDD)}{HDD + CDD} \right) \times h/gün \times gün/ay / \eta_{IP} \quad (4.46)$$

$$E_{IP} = ((53 \text{ kW} \times 2,421(HDD) + 61 \text{ kW} \times 308 (CDD)) / 2,729) \times 20 \text{ h/gün} \times 20 \text{ gün/ay} / \eta_{IP} = 6,654 \text{ kWh/ay}$$

Bunu denklem 9’da yerine koyarsak ,

$$Q_{Enormalize} = Q_E - 6,654 + 6,654 \times \left(\frac{HDD_{2012}}{HDD_{2014}} \right) \quad (4.47)$$

2012 ve 2014 yıllarının aylık ortalama sıcaklıkları (°C), binanın alışılmış algoritma ile işletildiği 2012 yılının aylık elektrik tüketimleri (kWh) (Eser, 2012-2014) ve binanın ekserji tabanlı algoritma ile işletildiği 2014 yılındaki aylık elektrik tüketimlerinin

denklem 4.47 kullanılarak 2012 yılına normalize edilmiş miktarları Çizelge 4.37’de verilmiştir.

Çizelge 4.37. Ortak iklim tabanında 2012 ve 2014 yılları elektrik tüketimleri

Aylar	Sıcaklık		Elektrik Tüketimi		
	2012 °C	2014 °C	2012 [kWh]	2014 [kWh]	2014 (2012’ye normalize) [kWh]
Ocak	-0.1	3.1	71,000	24,300	25,740
Şubat	-1.9	5.9	32,300	24,000	28,691
Mart	3.6	8.2	32,300	31,900	34,954
Nisan	12.1	11.6	59,400	28,281	27,404
Mayıs	14.5	13.4	47,200	17,012	12,185
Haziran	25.1	14.3	59,296	20,865	59,728
Temmuz	27.2	26.0	55,104	30,490	32,451
Ağustos	24.3	25.6	61,400	40,675	37,377
Eylül	24.0	26.0	77,611	33,370	27,191
Ekim	13.9	12.2	36,972	18,773	13,970
Kasım	8.5	7.6	28,664	34,128	32,934
Aralık	4.5	5.7	67,336	26,793	27,441
Toplam			628,583	330,587	360,066

**Hem ısıtma hem soğutmanın olduğu Haziran ve Eylül aylarında yük oranı kullanılmıştır.

Çizelge 4.35 ve 4.37’den ;

Ekserji tabanında 2012 Elektrik ve doğalgaz tüketimi:

$$417,996+628,583 = 1,046,579 \text{ kWh}$$

2012 yılına normalize edilen değerlere göre ekserji tabanında 2014 yılı elektrik ve doğalgaz tüketimi ise :

$$341,055+360,066 = 701,121 \text{ kWh}$$

olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuçlara göre, binanın ekserji tabanlı algoritma ile işletildiği 2014 yılındaki toplam enerji tüketimi alışılmış algoritma ile işletildiği 2012 yılındaki toplam enerji tüketimine göre % 33 azalmıştır.

Buradan elde edilen sonuçlar;

1. Ekserji tabanlı optimum sistem kontrol algoritmasının yakıt maliyeti üzerindeki etkisi
2. Ekserji tabanlı CO₂ salım miktarına yaptığı etki
3. Bölüm 3.1.3’de tanımlanan amaç fonksiyonumuz yönünden değerlendirilmiştir.

4.9.4. Sonuçların yakıt maliyeti üzerindeki etkisi

Çizelge 4.35 ve 4.37'den elde edilen sonuçlar, çizeleğe 4.38'de değerlendirilmiştir. Yeşil binanın alışılmış algoritma ile işletildiği oniki aylık dönemdeki toplam yakıt tüketimi ekserji tabanında 1,046,579 kWh'dir. Aynı binanın ekserji tabanlı optimum sistem kontrol algoritmasının kararları doğrultusunda işletildiği oniki aylık dönemin ortak iklim tabanında 2012 yılına normalize edilmiş ekserji tabanlı toplam yakıt tüketimi ise 701,121 kWh'dir. Buna göre toplam yıllık yakıt (doğalgaz ve elektrik) tasarrufu % 33' dür.

Bu hesaplamada binada çalışan personel sayısı (artma veya azalma) ile çalışanların konfor taleplerindeki değişiklikler dikkate alınmamıştır. Her iki yıl boyunca, elektrik ve doğalgazın satış birim fiyatlarının dolar bazında değişmediği ve sabit kaldığını kabul edilerek, bina m²'si başına yakıt maliyetindeki tasarruf 6.90 \$/yıl-m² olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.38).

Çizelge 4.38. Algoritmanın yakıt tüketimi üzerine etkisi

TÜKETİMLER	ALIŞILMIŞ ALGORİTMA (kWh)	EKSERJİ TABANLI ALGORİTMA (kWh)	FARK (kWh /yıl)	TASARRUF MALİYETİ (\$/yıl)	TASARRUF MALİYETİ (\$/yıl-m ²)
DOĞALGAZ	417,996.00	341,055.00	76,941.00	\$2,977.62	\$0.43
ELEKTRİK	628.583.00	360,066.00	268,517.00	\$45,110.86	\$6.47
TOPLAM	1,046,579.00	701,121.00	345,458.00	\$48,088.47	\$6.90

TASARRUF (%) 33.01

Doğalgaz Birim Fiyatı : 0.0387 \$/kWh
 Elektrik Birim Fiyatı : 0.168 \$/kWh
 Bina Alanı : 6,971 m²

4.9.5. Sonuçların ekserji tabanlı CO₂ salımları üzerinde etkisi

Akılcı Ekserji Verimi, ekserji arzı ve ekserji talebi arasındaki uyumsuzluğun CO₂ salım miktarını ve enerji kullanım oranını nasıl etkileyebileceğinin bir göstergesidir. Bu çalışmada CO₂ salımlarını dünyanın tamir edebileceği sınıra çekmek için ekserji yıkımının neden olduğu çevresel etkinin azaltılması hedeflenmiştir.

Ekserji tabanlı optimum sistem kontrol algoritmasının, alışılmış yeşil bina algoritmasına göre CO₂ salım miktarı üzerindeki etkisini görmek için CO₂ azaltım oranına bakabiliriz.

$$CO_2 \text{ Azaltım Oranı} = \frac{1-\bar{\Psi}_{Rf}}{1-\bar{\Psi}_{Rb}} \quad (4.48)$$

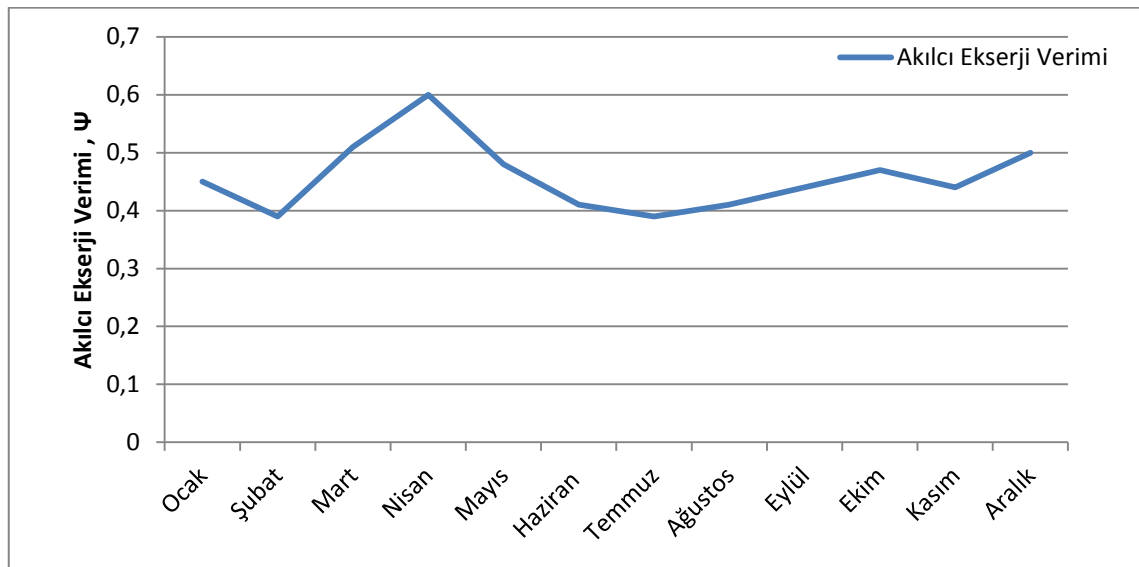
$\bar{\Psi}_{Rb}$, binanın alışılmış yeşil bina algoritması ile çalıştırıldığı dönemdeki akılcı ekserji yönetim verimi, $\bar{\Psi}_{Rf}$ ise binanın ekserji tabanlı optimum sistem kontrol algoritması ile çalıştırıldığı dönemdeki akılcı ekserji yönetim verimidir.

$\bar{\Psi}_{Rf}$, Yüksek performanslı yeşil binanın, ekserji tabanlı optimum kontrol algoritması ile işletildiği oniki aylık dönem boyunca alınan saatlik raporlardan elde edilmiş olup (çizelge 4.30'da bir günlük çıktı örnek olarak verilmiştir), aylık ortalamalar çizelge 4.38'de özetlenmiştir. Buna göre akılcı ekserji yönetim veriminin yıllık ortalama değeri $\bar{\Psi}_{Rf} = 0.46$ olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.35, çizelge 4.37 ve denklem 3.6 kullanılarak hesaplanan aylık CO_2 salımları da yine çizelge 4.39'da verilmiştir.

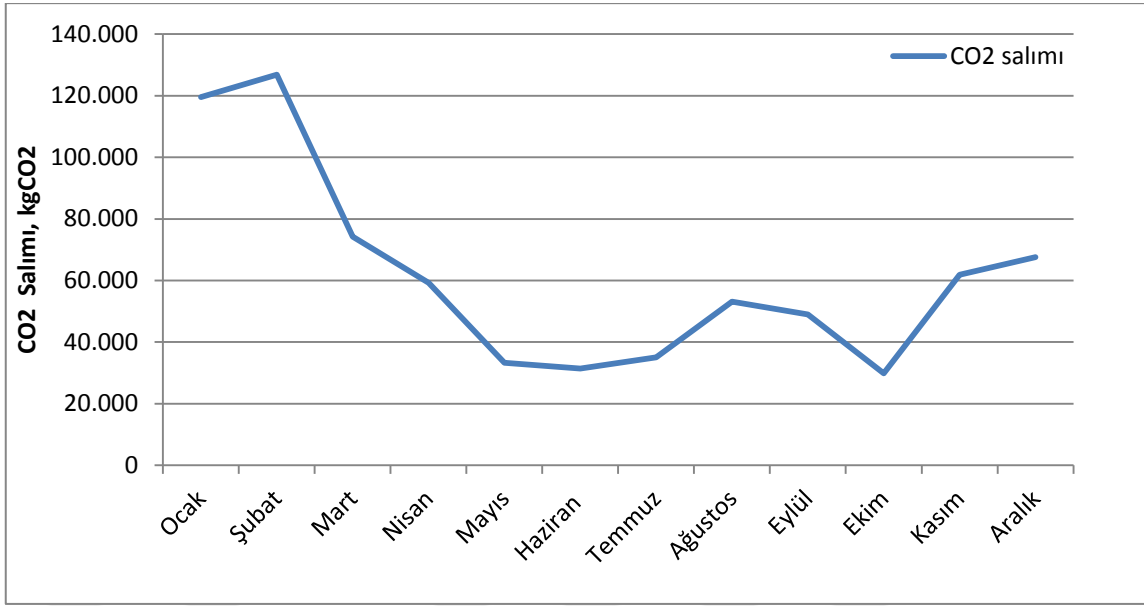
Çizelge 4.39. Ekserji tabanlı optimum sistem kontrol algoritması ile işletilen yıla ait aylık, $\bar{\Psi}_R$

2014	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
$\bar{\Psi}_{Rf}$	0.45	0.39	0.51	0.60	0.48	0.41	0.39	0.41	0.44	0.47	0.44	0.50
ΣCO_2	119,564	126,867	74,217	59,268	33,254	31,432	35,088	53,132	48,945	29,874	61,880	67,576

2014 yılı için aylara göre Akılcı Ekserji Yönetim Verimliliği ve CO_2 salımlarının grafiksel gösterimi ise şekil 4.38 ve 4.39' da verilmiştir.



Şekil 4.38. Akılcı ekserji yönetim veriminin aylara göre değişimi

Şekil 4.39. CO₂ salımının aylara göre değişimi

Şekil 4.38 ve 4.39'daki grafiklerde Akılcı Ekserji Yönetim Verimindeki artışın CO₂ salım miktarında azalmaya neden olduğu görülmektedir.

Aynı binanın alışılmış yeşil bina otomasyonu ile işletildiği oniki aylık dönemde, akılcı ekserji yönetim verimi raporlama yoluyla elde edilmediğinden, o döneme ait veriler kullanıcı girdisi olarak yüklenerek, yazılım alışılmış senaryo ile çalıştırılmış ve yeni algoritmanın raporlama modülünden yararlanılarak $\Psi_{Rb} = 0.32$ elde edilmiştir. Buna göre, eşitlik 4.48 kullanılarak CO₂ azaltım oranı 0.79 olarak hesaplanmıştır.

$$\frac{1 - \bar{\Psi}_{Rf}}{1 - \bar{\Psi}_{Rb}} = \frac{1 - 0.46}{1 - 0.32} = 0.79$$

4.9.6. Amaç fonksiyonun değerlendirilmesi

Binada ekserji yıkımı ne kadar çoksa, toplam karbon salımı da aynı düzeyde artmaktadır. Bir diğer ifade ile yüksek performanslı yeşil binalarının sürdürülebilirliği ortalama akılcı ekserji yönetim verimlerinin yüksekliğine bağlıdır. Geliştirilen metot ile akılcı ekserji yönetim veriminde elde edilen artış ve buna bağlı olarak CO₂ salımındaki azalma bölüm 4.9.5'de verilmiştir.

Toplam Akılcı Ekserji yönetim veriminde, $\bar{\Psi}_R$, % 43.75 oranında artış sağlanmıştır. CO₂ azaltım oranı ise 0.79 olarak hesaplanmıştır.

Ekserji tabanlı optimum sistem kontrol algoritması ile binanın işletildiği 2014 yılı boyunca:

$dCO_2 = 741,097 \text{ kg } CO_2 / 690,000 \text{ kWh} = 1.07 \text{ kg } CO_2 / \text{kWh}$ olarak gerçekleşmiştir.

Bu değer, amaç fonksiyonunun çevre parametresinde hedeflenen 1.34 değerinin altındadır.

Modelin hedef aldığı ekserji tabanlı çözümler için, bu özel uygulamada klasik yöntemlerle çözülebilir değişkenlerin yani a_3 ve a_4 'ün, a_1 ve a_2 'ye oranla ihmal edilebilir boyutta olduğu varsayılmıştır ve sıfır alınmıştır.

a_3 ve a_4 'ün amaç fonksiyonundaki ağırlıkları ise $a_1=0.5$ ve $a_2=0.5$ olacak şekilde eşit olarak alınmıştır.

Buna göre denklem 3.11 ve çizelge 4.35, 4.37, 4.38 ve 4.39'dan alınan değerler kullanılarak amaç fonksiyonumuz:

$$AF = 0.5 \times 0.46 + \frac{0.5}{1.074/1.34} = 0.86$$

olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Alışılmış işletim sistemlerinin, Yüksek Performanslı Yeşil Binaların sürdürülebilirliğine katkıları sınırlıdır. Algoritmanın sınındığı Yüksek Performanslı Yeşil Binanın simülasyon sonuçlarına baktığımızda (Çizelge 4.19) öngörülen bina (Proposed Building) senaryosunun, baz bina senaryosuna göre yıllık enerji tüketimindeki tasarruf oranı % 9.77'dir. Referans olarak kullanılan baz bina ile öngörülen bina koşulu arasındaki bu oran, tüm iç ve dış koşullar aynı kaldığına göre “yenilebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı tasarım farkından kaynaklanmıştır” şeklinde yorumlanabilir. Nitekim binanın ekserji tabanlı optimum karar algoritması ile işletildiği dönemdeki raporlara göre yenilenebilir enerji oranı yıl boyunca % 0 ile % 25 arasında değişmektedir.

Binanın, tüm yeşil HVAC ekipmanları ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla donatılmış olmasına rağmen, alışılmış algoritma ile çalıştırıldığı oniki aylık sürede de enerji verimliliği ve maliyet tasarrufu gibi beklenen yeşil performans parametrelerini sağlamadığı görülmüştür. Özetle, yüksek performanslı yeşil bina, alışılmış işletim algoritması ile çalıştırıldığında yeşil bina tasarımının enerji tasarrufuna etkisinin sınırlı kaldığını söylemek yanlış olmayacaktır.

Aynı binanın, yeşil bina tasarımı ile gerçek işletme koşullarında oniki ay boyunca birinci yasaya uygun olarak hazırlanan Alışılmış Algoritma ile, ikinci oniki aylık sürede de ikinci yasaya uygun olarak hazırlanan Ekserji Tabanlı Optimum Kontrol Algoritması ile işletildiğinde elde edilen yıllık enerji tüketimleri Çizelge 4.38'de karşılaştırılmıştır. Bina ekserji tabanlı algoritma ile işletildiğinde, enerji tüketiminde sağlanan tasarruf oranı % 33.01'dir. Yani sadece işletim sisteminden kaynaklı %33.01 oranında yakıt tasarrufu sağlanmaktadır. Bu oran, birinci bölümde bahsedilen ve EN 15232'ye dayandırılan genel öngörünün (iyi bir Bina Otomasyon ve Kontrol Sisteminin yakıt tüketimini azaltmada %20 oranında etkili olacağı) üzerindedir.

2014 yılında algoritmanın denendiği binada, ekserji verimliliği ve yakıt maliyetinin ağırlık oranları eşit alınarak yapılan bir tez çalışmasında, optimum BIG kapasitesinin baz ve öngörülen senaryoya göre farklılık gösterdiği, BIG kapasite seçiminin doğru yapılabilmesi en az bir yıl boyunca binadaki saatlik yük değişiminin izlenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştı (Bozdemir,K.,2014). Eğer binada optimum

cihaz kapasitesine uygun bir BIG seçilmiş olsaydı daha iyi sonuçların elde edilmesi mümkün olacaktı. Bu sonuç, simülasyona bağlı tümleşik bina tasarımının önemini ortaya koyduğu gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı enerji depolama sistemleri ile ikiz ve üçüz sistemlerin kullanımının gerekliliğini de göstermektedir.

Bu çalışmada ortaya konan ekserji tabanlı tasarım modeli ve optimum kontrol algoritması ile enerjinin akılcı kullanımında yeni bir çevreci anlayış ve uygulama atımı yanında, ekserji yıkımına bağlı önlenebilir CO₂ salımlarının yapılı çevrede azaltılması sağlanacaktır.

5.2. Öneriler

Yapılan çalışma, literatürde Akılcı Ekserji Yönetim Veriminin 0.7'den büyük olduğu binaların Yeşil Bina olarak varsayıldığı (Kılış,B.,2010) yönündeki kriterin doğruluğunun sınanması gerektiğini göstermektedir. Oniki aylık işletme döneminde akılcı ekserji yönetim veriminde yakalanan en yüksek değer $\bar{\Psi}_R = 0.75$ olup, yüksek performanslı ve LEED Platin Sertifikalı bir binada yapılan bu çalışma $\bar{\Psi}_R \geq 0.7$ kriterinin çok da ulaşılabilir bir değer olmadığını göstermiştir. Yüksek performanslı binaların, Akılcı Ekserji Yönetim Verimliliklerine göre aşağıdaki skalaya göre sınıflandırılmaları daha gerçekçi bir değerlendirme imkanı sağlayabilir. EKSERJİ AKILCILIK SKALASI olarak adlandırabileceğimiz bu skalada binalarının;

$$A \text{ GRUBU } 1 \geq \bar{\Psi}_R > 0.7$$

$$B \text{ GRUBU } 0.7 \geq \bar{\Psi}_R > 0.5$$

$$C \text{ GRUBU } 0.5 \geq \bar{\Psi}_R \geq 0.3$$

$$D \text{ GRUBU } 0.3 > \bar{\Psi}_R \geq 0.2$$

olarak değerlendirilmesi uygun olacaktır.

Bir diğer önemli konu ise, ısı yükü ve elektrik gücü gibi iki farklı enerji türünün TEP cinsinden eş baza getirilip toplanmasının aslında çok da doğru bir yöntem olmayışıdır. Bunun yerine, yeni bir yaklaşım sergileyerek, farklı enerji türlerinin ekserji tabanında eşbaza getirilmesi ve ekserji değerleri üzerinden kıyaslanması hususu değerlendirilmelidir.

Bu tez sadece bir araştırma olmayıp aynı zamanda “verimliliğin değil akılcılığın ön plana çıkarılması gerektiği” mesajını vermeye yöneliktir.

Hem küresel hem de ulusal enerji kullanımında 2. yasa gözardı edilmeden, doğanın sınırlarını zorlamayacak akılcı senaryolar üretilmelidir.

KAYNAKLAR

- Altensis, 2010, Eser Holding Headquarters Building Energy Modelling Analysis, ASHRAE Standard 90.1 Appendix G, Benchmarking Report, *ALTENSIS,08/10,Ankara,9,13-15,34-37*
- Anonim, 2010, Enerji Alanı Ulusal Ar-Ge ve Yenilik Stratejisine İlişkin Ufuk Taraması Bilgi Notu, TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanlığı, Ankara, 4-5.
- ASHRAE, 2004, ASHRAE Standard 55-2004, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, Copyright *ASHRAE, Inc., US*.
- ASHRAE, 2007, ASHRAE Standard 62.1-2007, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality Except Low- Rise Residential Buildings, Copyright *ASHRAE, Inc., US*.
- ASHRAE, 2009, ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2009 Energy Standard for Buildings Except Low - Rise Residential Buildings, Copyright *ASHRAE, Inc., US*.
- ASHRAE, 2011, ANSI /ASHRAE/USGBC/IES Standard 189.1-2011 Standard for the Design of High-Performance Green Buildings, Copyright *ASHRAE, Inc., US*.
- ASHRAE, 2012, Guideline 32-2012 - Sustainable, High Performance Operations and Maintenance, Copyright *ASHRAE, Inc., US*.
- Azevodo,J.A,Chapmen,L.,Muller,C.L,2015, Critique and suggested modifications of the degree days methodology to enable long-term electricity consumption assessments: A case study in Birmingham,UK, School of Geography, Earth and Environmental Sciences,Universirty of Birmingham,UK.
- Bi,Y., Wang,X., Liu,Y., Zhang,H., Chen,L., 2009, Comprehensive exergy analysis of a ground-source heat pump system for both building heating and cooling modes, *Applied Energy* ,Volume 86, Issue 12, Pages 2560-2565
- Bingöl,E., Kılış,B., Eralp,C., 2011,Exergy based performance analysis of high efficiency poly-generation systems for sustainable building applications,*Energy and Buildings*,43,3074-3081.
- Bozdemir,K.,2014,Green Building Automation Algorithm Development, MSc Thesis, *The Graduate School of Energy Conversion and Management of Offenburg University of Applied Sciences,Germany*
- CEN/TC 247 BEPBD-EN 15232, 2006, Energy Performance of Building, Impact of Building Automation, Controls and Building Management [online], http://www.cres.gr/greenbuilding/PDF/prend/set4/WI_22_TC-approval_version_prEN_15232_Integrated_Building_Automation_Systems.pdf [Ziyaret Tarihi: 15 Nisan 2019].
- Delay,T.,Stuart,F.,Jennings,T., 2009, Building the Future Today, *The Carbon Thrust*,3

- ESS Energy Systems and Service Ltd.,2008, *ESS EM 50/81, VITOBLOC 200* Kojenerasyon Cihazı Teknik Katalog.
- Exergy:Analysis(Energy Engineering),What-When-How <http://what-when-how.com/energy-engineering/exergy-analysis-energy-engineering/>[Ziyaret Tarihi: 15 Nisan 2019].
- Bijörk,F.,Kılış,Ş.,Molimari,M.,2012,Energy Quality Management and Low Energy Architecture, *KTH Royal Institute and Technology*,Stockholm.
- Gillenwater,M.,2010, What is a Global Warming Potential? And which one do I use?, ghg, Management Institute.
- Gülbeden,A.,2015, Enerji Verimli, Yüksek Performanslı Binalar için, Akılcı Ekserji Yönetim Tabanlı Otomasyon Algoritmasının Geliştirilmesi ve Web Tabanlı Benchmark Oluşturulması,*TÜBİTAK 1501 Proje no 3120176*.
- Hui,Sam C.M., 2016, *Basics of High Performance Building Design*, Faculty of Science and Technology,Technological and Higher Education Institute of Hong Kong.
- Kaftanoğlu, B. and Kılış,B., 1975, Hierarchical CAD Structure for Buildings.
- Katipamula,S.,Brambley,MR.,2006,Advanced CHP Control Algorithms :Scope Specification.*Pacific Northwest National Laboratory Richland*,Washington 99352.
- Kılış, B., 2004, An Exergy Aware Optimization and Control Algorithm for Sustainable Buildings, *International Journal of Green Energy*, 1, 65-77.
- Kılış, B.,2009, Yüksek Performans Binası Nedir, Ne Değildir? Yüksek Performans Binalarının Tanımı, Tarifler ve Temel İşlevleri, *TTMD Dergisi*, 59, 19-24.
- Kılış,B.,2010, An Analytical, Multi-Objective Optimization Algorithm for Energy Efficiency in District Cooling Systems and Green Buildings, *CLIMA 2010 International Conference, Proceedings on CD*,Antalya,ISBN: 978-975-6907-14-6
- Kılış,B.,2010 a, Exergy Aspects of Operative Temperature and Its Implications on Sustainable Building Performance, *Paper No: AB-10-85083, Proceedings, ASHRAE Annual Meeting, Albuquerque, ASHRAE Transactions 2010*, Vol. 116, Part 2, pp: 99-107.
- Kılış,B.,2011, Exergy Metrication of Radiant Panel Heating With Heat Pumps, *10th International Conference on Sustainable Energy Technologies*, İstanbul, Paper No : 335
- Kılış, B.,2012,Cogeneration and Trigeneration for Rational use of Renewable Energy Resources,*Encyclopedia of Energy Engineering and Technology*,pp 1-9.
- Kılış,B.,Kılış,Ş.,2009,Energy and Exergy Efficiency Comparison of Poly-Generation and Co-generation Systems, Conference Proceedings, (In Serbian), Proceedings of the *40th Congress on HVAC&R – KGH*, Belgrade, Vol. 22, pp: 474-486.

- Kılıkış,Ş.,Kılıkış,B.,2008, Rational Exergy Management Guided Benefits of Cogeneration in High Performance Buildings, Proceedings, *The 13th International Conference on Machine Design and Production*, İstanbul, Vol. I, pp: 521-538.
- Kılıkış,Ş, 2007, A New Metric for Net-Zero Carbon Buildings, *ASME 2007 Energy Sustainability Conference*, Paper No. ES2007-36263, pp. 219-224; 6 pages
- Kılıkış,Ş.,2010, Carbon Equivalency and Sustainability Metric for District Cooling Systems-a vis-a-vis Study With Unitary A-C Systems, *CLIMA 2010 International Conference*, Antalya,Proceedings on CD, ISBN: 978-975-6907-14-6,
- Kılıkış, Ş., 2011, A Rational Exergy Management Model to Curb CO₂ Emissions in the Exergy-Aware Built Environments of the Future, PhD Thesis, *KTH Royal Institute of Technology*, Stockholm, Sweden.
- Kotas,T.J.,1995,*The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*.Krieger Publishing Company, Malabar, Florida 32950.
- Mecler,M., Hyman,L.B.,2010, Sustainable On-Site CHP Systems, Mc.Graw-Hill, NewYork.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/gunderece.aspx#sfU> ,[Ziyaret Tarihi: 23.Mart 2016].
- Navigant Research, <https://www.navigantresearch.com/.../the-global-building-st>,[Ziyaret Tarihi: 20.Mart.2019].
- REHVA, 2017, Introduction to Building Automation, Controls and Technical Building Management, Rehva Guidebook no: 22.,*Litiu Andrei,REHVA*.
- Saidur,R.,Boroumandjazi,G.,Mekhlif,S.,Jameel,M.,2012, Exergy analysis of solar energy applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,Volume 16, Issue 1, January 2012, Pages 350-356
- Sharp,2009, *NT Series Monocrystalline silicon photovoltaic modules*,Teknik Katalog
- Steca Solarelectronic, 2006, <http://192.168.4.230/>,[Ziyaret Tarihi: 16.Eylül. 2016].
- Torcellini,P.,Pless, S.,Deru,M.,Griffith,B.,Long,N.,Judkoff, R.,2006, Lessons Learned from Case Studies of Six High Performance Buildings, *Technical Report NREL/TP-550-37542*, National Renewable Energy Laboratory
- Trading Economics,2019, Turkey - CO2 emissions from residential buildings and commercial and public services (% of total fuel combustion) ,Worldbank, <https://tradingeconomics.com/turkey/co2-emissions-from-residential-buildings-and-commercial-and-public-services-percent-of-total-fuel-combustion-wb-data.html>,[Ziyaret Tarihi: 10.Haziran 2019].
- Türkiye İstatistik Kurumu,2018,Seragazi Emisyon İstatistikleri 2016, *TÜİK 27675,Haber Bülteni, 25-56*

UN Environment, Global Status Report, 2017, World Green Building Council
https://www.worldgbc.org/.../UNEP%20188_GABC_en%20... ,[Ziyaret Tarihi:
20.Eylül. 2018].



EKLER

EK-1 Saatlik Performansların Hesaplanmasında Kullanılan Bina Performans Metrikleri

Sistem ve cihazların ne denli iyileştirildiğinin sınanması için aşağıdaki ölçütler kullanılmıştır.

1. *Alternatif Enerji Oranı (AER, YEO)*
2. *Birincil Enerji Tasarruf Yüzdesi (PES)*
3. *Akılcı Ekserji Verimi Katsayısı (AEV)_K*
4. *CO₂ Azaltım Katsayısı, (CO₂)_K*

Alternatif Enerji Oranı (Yenilenebilir Enerji Oranı), YEO

Bir uygulamada, belirli bir yükün ne kadarının alternatif enerji kaynakları tarafından karşılandığını gösteren bir değerlendirme metriğidir. Bu metriği göre, Ψ_R değeri, yenilenebilir enerji kaynaklarının o binada ya da tesiste hangi oranda kullanıldığına bağlı olarak düzeltilmelidir.

$$YEO = \Psi_R \times \left(\frac{Q_{AH} \times \varepsilon_{AH} + Q_{AE}}{Q_H \times \varepsilon_{HH} + Q_E} \right)$$

Q_{AH} : Isı ve/veya soğüğün yenilenebilir enerji kaynakları ile ε_{AH} ekserjisinde karşılandığı ısı güç (veya enerji).

Q_{AE} : Yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanan elektrik gücü (veya enerji). Birim ekserjisi 1 kabul edilmiştir (0.95 daha doğru bir değerdir).

Q_H : Binanın toplam ısı talebi.

Q_E : Binanın toplam güç talebi.

ε_{HH} : Bina ısı yüklerinin (Örneğin ısıtma ve sıcak servis suyu talepleri) ortalama ısı yük ekserjisidir.

Hiç yenilenebilir enerji kaynağı kullanılmayan bir binada $YEO = \Psi_R$ olup, Akılcı Ekserji Verimi yenilenebilir enerji kaynaklarının binada kullanım oranına göre düzeltilmelidir.

Birincil Enerji Tasarruf Yüzdesi (Ekserji Tabanlı), PES

Isı ve güç üretiminde, belirli referans değerlere göre olası enerji tasarrufunu veren bir değerlendirme metriğidir. Özellikle BIG sistemlerinin yıllık performansını

etkileyen ve zamana bağılı bir etkidir. Sistem eskidikçe genel olarak azalır ve doğrudan ekonomikliği etkiler.

$$PES = \left[1 - \frac{1}{\frac{BIG_{\eta 1H}}{REF_{\eta 1H}} + \frac{BIG_{\eta 1E}}{REF_{\eta 1E}}} \right] \times 100$$

Yukarıdaki denklemde ekserji verimliliği yer almamaktadır. AB 2004/8/EC'ye göre düzeltilmiş, Ekserji Gömülü Birincil Enerji Tasarrufu, PES_R

$$PES_R = \left[1 - \frac{1}{\left\{ \left(\frac{BIG_{\eta 1H}}{REF_{\eta 1H}} \right) + \left(\frac{BIG_{\eta 1E}}{REF_{\eta 1E}} \right) \right\} \times \frac{(2 - Ref\psi_R)}{2 - \psi_R}} \right] \times 100$$

$BIG_{\eta 1E}$: BIG kısmi Elektrik verimi

$BIG_{\eta 1H}$: BIG kısmi Isı verimi

$REF_{\eta 1E}$: Referans Elektrik verimi (Varsayı değeri 0.80)

$REF_{\eta 1H}$: Referans Isı verimi (Varsayı değeri 0.52)

$Ref\psi_R$: 0.21 (Isıtma için)

Akılcı Ekserji Verimi Katsayısı (AEV_K)

Baz senaryoya göre Akılcı Ekserji Veriminde ne kadar artış olduğunun göstergesidir.

$$AEV_K = \left(\frac{\bar{\psi} - \bar{\psi}_b}{\bar{\psi}_b} \right)$$

$\bar{\psi}_b$: Baz senaryoya göre akılcı ekserji verimi (0,04 – 0,06 arasında bir değer)

CO₂ Azaltım Katsayısı, ($(CO_2)_K$)

CO₂ salımında baz senaryoya göre ne kadar azalma olduğunun göstergesidir.

$$(CO_2)_K \cong \frac{2 - (\bar{\psi})}{2 - \bar{\psi}_b}$$

EK-2 BIG Kapasite Düzeltme Çarpanları (Capacity De-rating Factors)

Motorlu ve türbinli sistemlerde anlık gerçek kapasite, K (Anlık elektrik üretim kapasitesi) ve anlık güç/ısı oranı (C) katalog değerine göre önemli değişiklikler gösterebilir. Bu değişiklikler; BIG sisteminin çalıştığı konumun denizden olan yüksekliğine, zamana bağlı olarak dış hava sıcaklığına, dış havanın bağıl nemine, dış hava basıncına, yakıtın gerçek kalorifik değerine, aynı zamanda BIG sisteminin tam yük yerine kısmi yüklerde çalışmasına bağlıdır. Bu değişiklikler BIG sisteminin kapasitesini ve verimini etkilemektedir.

ISO standartının koyduğu kapasite ve verimler için standart çevresel koşullar:

- *15°C dış hava sıcaklığı, 101,3 kPa dış hava basıncı, % 60 dış hava bağıl nem ve deniz seviyesi'dir.*

Fosil yakıtlı, motorlu veya türbinli BIG sistemlerinin katalog kapasite değerleri yukarıdaki standart değerlerden saptıkça her an değişmektedir. Bu nedenle kapasite seçiminde ve ekonomik çözümlerinde meteorolojik verilerin zamana bağlı saatlik (t) değişimleri önem kazanmaktadır. Bu bağlamda beş temel kapasite düzeltme çarpanı (**Capacity De-rating Factors**) bulunmaktadır.

- Deniz seviyesinden olan yükseklik çarpanı, $k_a(t)$
- Basınç çarpanı, $k_p(t)$
- Nem çarpanı $k_{rh}(t)$
- Hava sıcaklığı çarpanı k_{ta} ve
- Yakıt kalorifik değeri (Alt ısıya göre) çarpanı, $k_f(g)$ dir.

Bu çarpanların kullanılacağı anlık (t zamanına bağlı) kapasite değeri;

$$K(t) = k_a(t) \times k_p(t) \times k_{rh}(t) \times k_{ta}(t) \times k_f(g) \times K(katalog) [kWe veya MWe]$$

EK-3 C Sharp Yazılımdan Örnek Bir Bölüm

```

{
    if (mod == 0)//mbar to PSI
    {
        return Math.Round((deger * 0.0145),2);
    }
    else if (mod == 1)//PSI to mbar
    {
        return Math.Round((deger / 0.0145), 2);
    }
    return -1000;
}

//Genel veriler tanımlanıyor
public class GlobalVariables
{
    //Ölçümler
    public static double E = 0, Epv = 0, To = 0, Po = 0, RHo = 0, GR = 0,
    Vwo = 0, WD = 0;
    public static double Tmd = 0, Tmy = 0, Tpcy = 0, Tpgd = 0, Tpcd = 0,
    Tpgy = 0, Tsgd = 0, Tscd = 0, Tsgy = 0, Tscy = 0, CH1 = 0, Tpgs = 0, Tpcs = 0,
    Tsgs = 0, Tscs = 0, Tms = 0;
    public static double BIGbuffer = 0, ORbt = 0, Güçkoj = 0, Q_Güneş=0,
    Echpeski=0;
    public static double Kol_Düs = 0, Kol_Yük = 0, Kol_Yaz = 0, Kol_Gün =
    0;
    public static double Su_Bah = 0, Su_Kul = 0, Su_Gri = 0;
    public static double EURO = 0;
    public static double[,] Arr = new double[10000, 1000];
    public static string[,] ArrStr = new string[10000, 1000];
    public static double GenelYuk = 0, GenelYuk_Diger = 0;

    //Girilenler
    public static double Tymin = 0, Tymax = 0, Tdmin = 0, Tdmax = 0,
    Tsmin = 0, Tsmax = 0, QDy = 0, QDd = 0, QDs = 0, Vy = 0, Vd = 0, Vs = 0;
    public static double mpyw = 0, mpdw = 0, mpsw = 0, msyw = 0, msdw =
    0, mssw = 0;
    public static double pd = 0, pep = 0, peg = 0, peu = 0;
    public static double Echpmax = 0, Hchpmax = 0, CIPh = 0, CIPc = 0,
    ABSc = 0, COPabs = 0, CH1c = 0, COPch1 = 0, Hbt = 0, Tmelt = 0, n1k = 0, n1t = 0,
    Eps = 0, Alt = 0, ITK = 0, STK = 0;
    public static double Echpmax2 = 0, Hchpmax2 = 0, n1t2 = 0, Eps2 = 0,
    CH2c = 0, COPch2 = 0;
    public static double UnitType = 1, FuelType = 1, LangType = 2,
    FlagType = 0;
    public static int Excel_row_count = 0;
    public static string Mode;
    public static string MainMode_path =
    @"E:\AEO_Raporlar\";//Path.GetDirectoryName(Application.ExecutablePath);
    //public static string TryMode_path = @"E:\AEO_Raporlar\"; Tezzz
    public static string TryMode_path = "";
    public static string FileName;

    //Sabitler
    public static string date = DateTime.Now.ToString("dd/MM/yyyy");

```

```

        public static string time = DateTime.Now.ToString("HH:mm");
        public static int clock =
Convert.ToInt32(DateTime.Now.ToString("HH"));
        public static double cpw = 0.001163, cpgw = 0.00108, dw = 1000,
n1s=0.27;
        //Açma-Kapama modları
        public static double BIGmode = 0, BIG2mode = 0, IPmode = 0, Kazanmode
= 0, Chiller1mode = 0, Chiller2mode = 0, BuzTmode = 0, Absmode = 0;

    }

    //SQL tabanından verileri okuyan ve ekrana yansıtan bir fonksiyon
    private void Veri_Cek()
    {
        //Kullanıcı Ekranı bağlantısı
        try
        {
            using (SqlConnection formconn = new SqlConnection("Data
Source=ESERRDP;Initial Catalog=taclogdata;User ID=sa;Password=likompresto%1"))
            {
                //open connection + execute command + do something else

                GlobalVariables.time = DateTime.Now.ToString("HH:mm");
                GlobalVariables.clock =
Convert.ToInt32(DateTime.Now.ToString("HH"));
                formconn.Open();
                SqlCommand AEOLogcmd = new SqlCommand("SELECT * FROM
dbo.AEOLog", formconn);
                SqlDataReader AEOLogdr = AEOLogcmd.ExecuteReader();
                if (AEOLogdr.HasRows == true)
                {
                    while (AEOLogdr.Read())
                    {
                        //Kullanıcı Girdileri ekrana yansıtılıyor
                        double TrendlogValue =
Convert.ToDouble(AEOLogdr[1].ToString());
                        switch (Convert.ToInt32(AEOLogdr[2].ToString()))
                        {
                            case 1: TyminTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
                            case 2: TymaxTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
                            case 3: TdminTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
                            case 4: TdmaxTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
                            case 5: TsmminTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
                            case 6: TsmmaxTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
                            case 7: QDyTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
                            case 8: QDdTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;

```

```

        case 9: QDsTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 10: VyTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 11: VdTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 12: VsTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 13: mpywTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 14: mpdwTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 15: mpswTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 16: msywTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 17: msdwTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 18: msswTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 19: pdTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 20: pepTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 21: pegTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 22: peuTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 23: EchpTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 24: HchpmaxTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 25: CIPhTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 26: CIPcTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 27: ABScTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 28: COPabsTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 29: CH1cTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 30: COPch1TextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 31: HbtTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 32: TmeltTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        /* case 33: CH2cTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 34: COPch2TextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;*/
        case 35: n1kTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 36: n1tTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;
        case 37: EpsTextBox.Text =
Math.Round(TrendlogValue, 2).ToString(); break;

```

EK- 4 Excel Tabanlı Optimum İşletim Algoritması,Cihaz Bilgileri Bölümünden Örnek

PRİMER DEVRE			SAATLİK DEĞERLER				
			0	1	2	3	4
Primer Pompa		kW					
Primer Eşanjör Verimi							
Debi	m_{pdw}	m ³ /hr					
Giriş Sıcaklığı	T_{pgy}	C / K					
Çıkış Sıcaklığı	T_{pcy}	C / K					
Basınç Kaybı		Pa					
SEKONDER DEVRE							
Sekonder Pompa		kW					
Sekonder Eşanjör Verimi							
Debi	m_{sdw}	m ³ /hr	10	10	10	10	10
Giriş Sıcaklığı	T_{sgy}	C / K	313	57,14	30	46	
Çıkış Sıcaklığı	T_{scy}	C / K	323	57,2	10	50	
Basınç Kaybı		Pa					
DEPO							
Marka							
Adet							
Depo Akışkanı	C_{pw}	kJ/kgK	1	1	1	1	1
Depo Akışkanı Yoğunluk		m ³ /kg					
Depolama Hacmi		m ³					
Şarj Süresi		hr					
Deşarj Süresi		hr					
Isı Kaybı U değeri		kW/m ² k					
Isı Kaybı Yüzeyi		m ²					
Ortam Sıcaklığı		K					
Kapasite	Q_{dd}	kW/hr	70	70	70	70	70
ANLIK TALEP (BİNA)		kW/hr	100	0,6	100	40	
DEPO İHTİYACI		kW/hr	100	0,6	100	40	
Ortalama Depo Set Sıcaklığı		C / K	45	45	45	45	45
Okunan Depo Sıcaklığı	T_{md}	C / K	49	49	49	49	49
Depodaki Enerji (%)		%	90	90	90	90	90
Minimu Depo Sıcaklığı	T_{dmin}	C / K	40	40	40	40	40
Maksimum Depo Sıcaklığı	T_{dmax}	C / K	50	50	50	50	50
Depoda mevcut Enerji	H_d	kW/hr	63	63	63	63	63
Depo Talebi						-70	

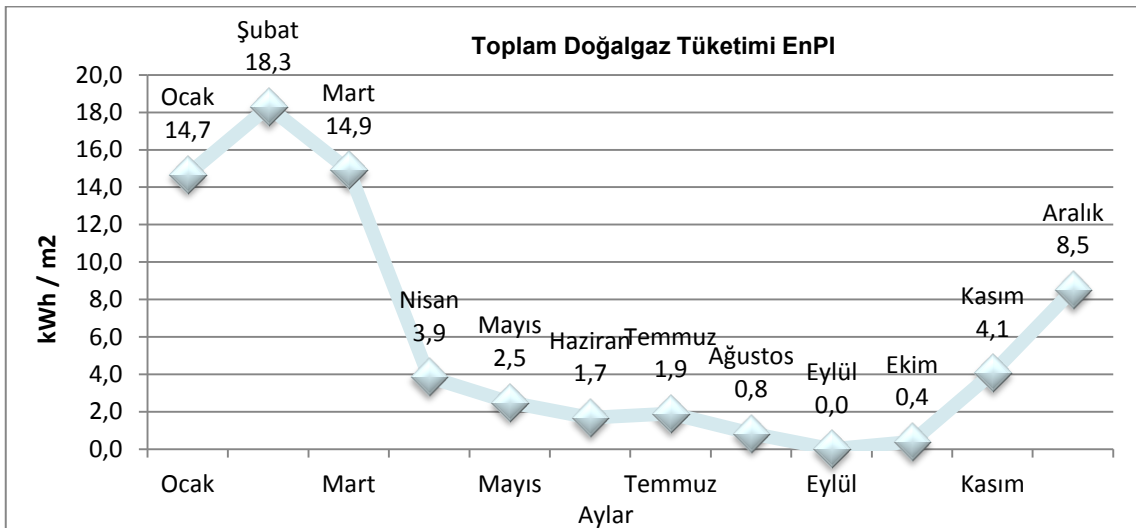
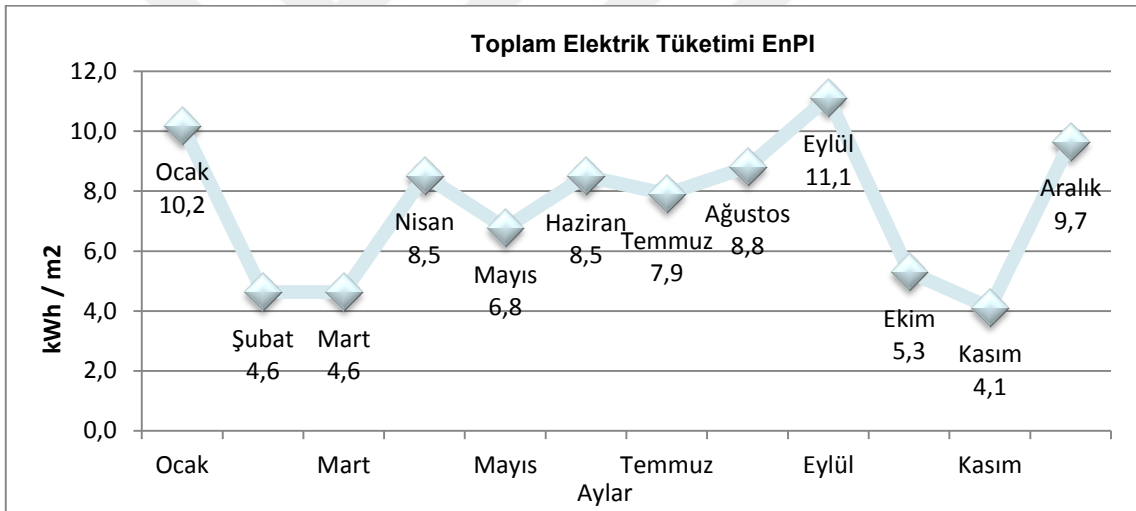
EK-5 Akılcı Ekserji Veriminin Yaz Kış Örnek Gün İçin Saatlik Değişimi



EK-6 Eser Yeşil Binası 2012 Yılı Enerji Tüketimleri (Aylık faturalardan alınmıştır)

Yıl: 2012

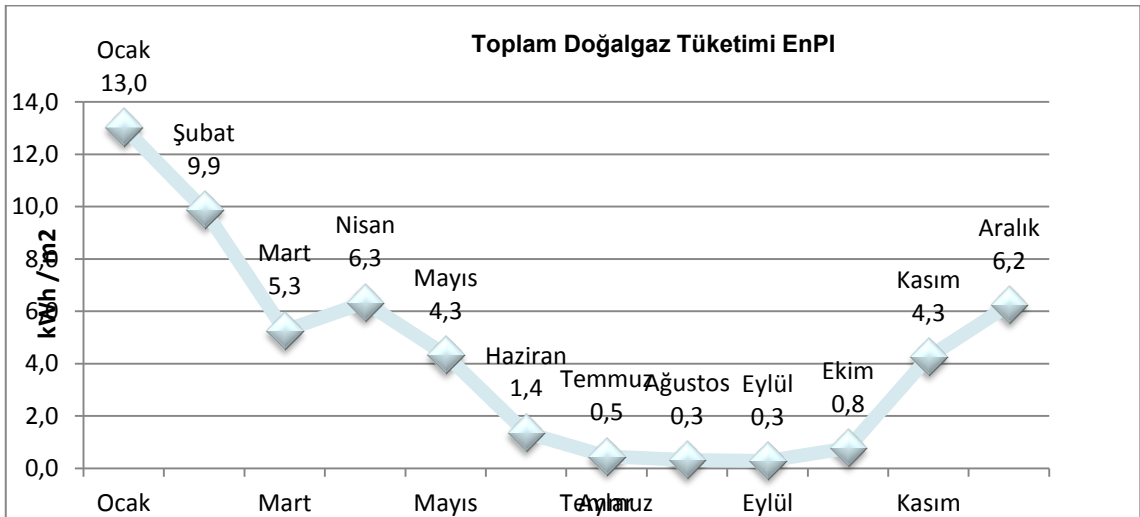
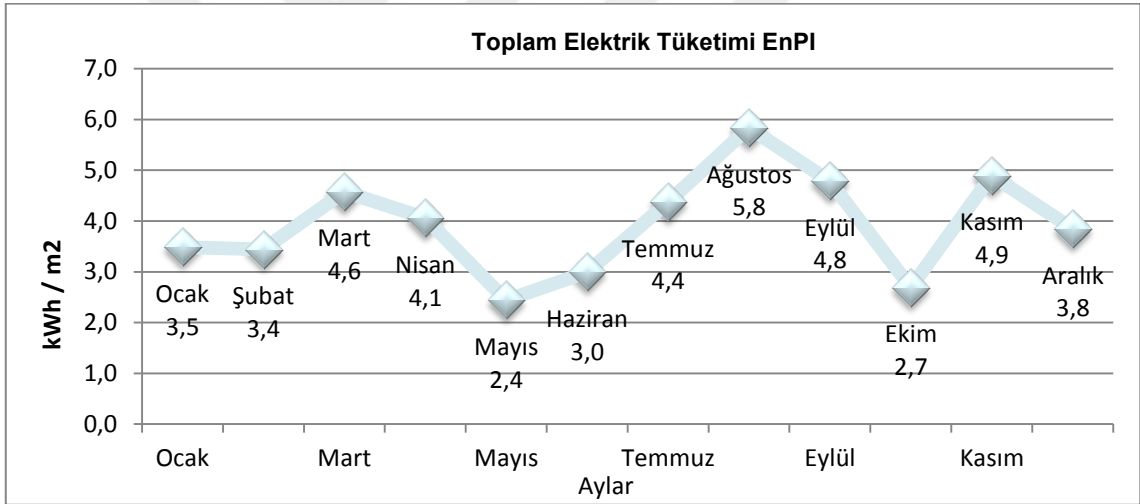
2012 YILI ENERJİ ÖZETİ									
AYLAR	Tüketim			Maliyet			Sergazi (GHG) Emisyonları		
	Elektrik	Doğalgaz	Toplam	Elektrik	Doğalgaz	Toplam	Elektrik	Doğalgaz	Toplam
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[TL]	[TL]	[TL]	[tCO2]	[tCO2]	[tCO2]
Ocak	71.000	102.328	173.328	21.000,00 TL	8.430,00 TL	29.430,00 TL	196,6	23,4	220,0
Şubat	32.300	127.562	159.862	9.640,00 TL	10.534,00 TL	20.174,00 TL	89,4	29,1	118,6
Mart	32.300	103.873	136.173	9.640,00 TL	8.454,00 TL	18.094,00 TL	89,4	23,7	113,1
Nisan	59.400	26.846	86.246	17.728,00 TL	2.493,00 TL	20.221,00 TL	164,5	6,1	170,6
Mayıs	47.200	17.443	64.643	14.750,00 TL	1.622,00 TL	16.372,00 TL	130,7	4,0	134,7
Haziran	59.296	11.677	70.973	18.528,00 TL	1.077,00 TL	19.605,00 TL	164,2	2,7	166,9
Temmuz	55.104	13.231	68.335	17.219,00 TL	1.208,00 TL	18.427,00 TL	152,6	3,0	155,6
Ağustos	61.400	5.834	67.234	22.752,00 TL	525,00 TL	23.277,00 TL	170,0	1,3	171,4
Eylül	77.611	0	77.611	28.926,00 TL	0,00 TL	28.926,00 TL	214,9	0,0	214,9
Ekim	36.972	2.725	39.697	13.108,00 TL	255,00 TL	13.363,00 TL	102,4	0,6	103,0
Kasım	28.664	28.391	57.055	10.594,00 TL	3.020,00 TL	13.614,00 TL	79,4	6,5	85,9
Aralık	67.336	59.363	126.699	24.270,00 TL	6.404,00 TL	30.674,00 TL	186,5	13,5	200,0
Total	628.583	499.272	1.127.855	208.155,00 TL	44.022,00 TL	252.177,00 TL	1.740,6	113,9	1.854,6



EK-7 Eser Yeşil Binası 2014 Yılı Enerji Tüketimleri (Aylık faturalardan alınmıştır)

Yıl: 2014

2014 YILI ENERJİ ÖZETİ									
AYLAR	Tüketim			Maliyet			Sergazi (GHG) Emisyonları		
	Elektrik	Doğalgaz	Toplam	Elektrik	Doğalgaz	Toplam	Elektrik	Doğalgaz	Toplam
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[TL]	[TL]	[TL]	[tCO2]	[tCO2]	[tCO2]
Ocak	24.300	90.786	115.086	8.800,00 TL	9.881,28 TL	18.681,28 TL	67,3	20,7	88,0
Şubat	24.000	68.785	92.785	8.500,00 TL	7.627,52 TL	16.127,52 TL	66,5	15,7	82,2
Mart	31.900	36.700	68.600	11.485,30 TL	4.095,83 TL	15.581,13 TL	88,3	8,4	96,7
Nisan	28.281	44.165	72.445	10.253,50 TL	4.905,09 TL	15.158,59 TL	78,3	10,1	88,4
Mayıs	17.012	30.185	47.197	6.143,60 TL	3.293,90 TL	9.437,50 TL	47,1	6,9	54,0
Haziran	20.865	9.451	30.316	7.535,10 TL	1.014,03 TL	8.549,13 TL	57,8	2,2	59,9
Temmuz	30.490	3.147	33.637	11.886,90 TL	331,99 TL	12.218,89 TL	84,4	0,7	85,1
Ağustos	40.675	2.197	42.872	15.893,10 TL	229,09 TL	16.122,19 TL	112,6	0,5	113,1
Eylül	33.370	1.929	35.298	13.862,90 TL	200,45 TL	14.063,35 TL	92,4	0,4	92,8
Ekim	18.773	5.363	24.137	8.485,50 TL	586,00 TL	9.071,50 TL	52,0	1,2	53,2
Kasım	34.128	29.629	63.757	15.480,50 TL	3.443,23 TL	18.923,73 TL	94,5	6,8	101,3
Aralık	26.793	43.464	70.258	11.828,51 TL	5.165,14 TL	16.993,65 TL	74,2	9,9	84,1
Total	330.587	365.800	696.387	130.154,91 TL	40.773,55 TL	170.928,46 TL	915,4	83,5	998,9



EK-8 Binada Kurulu CihazlarıN Teknik Özellikleri

Ekipman	Kapasiteler		Teknik özellikler
	Isıtma/Soğutma [kW]	Güç [kW]	
Doğalgaz Kazanı	240/		Yoğuşmalı (3*80kW)
Kojenerasyon Cihazı (BIG)	81/	50	Doğalgaz motorlu
Toprak Kaynaklı Isı Pompası (IP)	53/61		Scroll kompresörlü Soğutucu akışkan:R410A 5*120 mt.derinlikte kuyu
Elektrikli Soğutma Grubu	/200		Vidalı kompresörlü, hava soğutmalı, çift opsiyonlu, buz moduna uygun, Akışkan: 30% Ethylene Glycol
ABS	/45		Sıcak su giriş/çıkış: 80 °C / 60 °C Soğuk su giriş/çıkış: 7 °C / 12 °C Lithium Bromide (LiBr)
Buz Depoama (TSU)	/500		Şarj süresi- 10 saat Deşarj süresi- 8 saat
Rüzgâr Türbini		1	Yatay eksenli, 3 kanatlı, kapama rüzgar hızı 2.5 m/s
Güneş Kolektörleri (m ²)	10		Düzlemsel toplaç
Fotovoltaik Paneller (PV)		6	On-grid sistem
Not: Elektromekanik tesisattaki tüm sistemler yalıtımlıdır. Pompalar frekans konvertörlü ve yüksek enerji verimliliğine sahiptir.			

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ayşe ESER GÜLBEDEN
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya 1963
Telefon : 0 532 6530902
Faks :
E-Posta : a_gulbeden@yahoo.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Atatürk Kız L.	Karatay	Konya	1980
Üniversite	: ODTÜ	Şehitkamil	Gaziantep	1987
Yüksek Lisans	: ODTÜ	Çankaya	Ankara	1989
Doktora	: KTUN	Selçuklu	Konya	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
1987-1989	Emek İnş. ve İşl. A.Ş. Cumhurbaşkanlığı Şantiyesi	Şantiye Müh.
1989-1993	Emek İnş. ve İşl. A.Ş. TÜBİTAK Merkez Binası İnşaatı	Mekanik Şefi
1993-2001	Emek İnş. ve İşl. A.Ş. Merkez	Makine Müd.
2002-2005	Tepe-Nacap JV, BTC Boru Hattı Projesi	Teknik Sat.Müd.
2005-2007	BTC Proje Direktörlüğü, BTC Pompa İstasyonları Projesi	Teknik Sat. Müd.
2007-2019	ESER Taahhüt ve San. A.Ş.	Mekanik Tes. Müd.

UZMANLIK ALANI

Üstyapı Mekanik Tesisatları
 Bina Enerji Yönetimi
 Etüd ve Proje Yönetimi
 AR- GE Proje Yönetimi
 Yeşil Binalar

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

3120176 no'lu TÜBİTAK 1501 Projesi, Proje Yöneticisi

YAYINLAR*

“An Analytical Model For Dropwise Condensation Including The Effect Of The Substrate Material”, 10th Heat Science and Technology Conference of Turkey, ULIBTK’95. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)

“Yüksek Performanslı Sürdürülebilir Binalara İlişkin Bir Değerlendirme”,TMH - 461-462 - 2010/3-4, İbrahim Çakmanus, İhsan Kaş, Arif Künar, Ayşe Gülbeden

“A Case Study in Ankara for Sustainable Office Buildings”, Clima 2010, 10th REHVA World Climate Congress, May9-12, 2010, Antalya, I. Cakmanus, A. Konar,G. Toprak ,A.Gulbeden

“Yüksek Performanslı Sürdürülebilir Binalar”, TESKON, 9 Ocak 2011, İzmir, İbrahim Cakmanus, Arif Künar, Ayşe Gülbeden, Ayhan Kibar

“Eser Yeşil Binasında Kurulmuş, Hibrid Mekanik Tesisatın Tanıtımı” MEP TURKEY, 21-22 Şubat 2012, İstanbul

“Yüksek Performanslı Binalarda Yenilenebilir Enerji Destekli Kojenerasyon Trijenerasyon Sistemlerinin Otomasyonu ”, TTMD, 21 Şubat 2015, Ankara

“An Exergy-Based Automation System in ESER LEED Platinum Building”, Technology Symposium XII. International HVAC + R & Sanitary, 31 Mart-2 Nisan 2016, İstanbul, Dr.Birol Kilkis, Dr.Şefik Bilir, Ayşe Gülbeden, 073 ESER_Binasi_fe_v3 (Doktora Tezinden yapılmıştır)