T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT GÜÇ SİSTEMLERİ İLE İKLİMLENDİRME SİSTEM YÜKLERİNİN OPTİMİZASYON TEMELLİ İŞLETİM MODELLEMESİ VE HASTANE İKLİMLENDİRME SİSTEMİ TALEP CEVABI UYGULAMASI

Gürcan Şahin AKINCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Yavuz EREN

Nisan, 2022

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT GÜÇ SİSTEMLERİ İLE İKLİMLENDİRME SİSTEM YÜKLERİNİN OPTİMİZASYON TEMELLİ İŞLETİM MODELLEMESİ VE HASTANE İKLİMLENDİRME SİSTEMİ TALEP CEVABI UYGULAMASI

Gürcan Şahin AKINCI tarafından hazırlanan tez çalışması 29.04.2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Yavuz EREN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Yavuz EREN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Şeref Naci ENGİN, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi İlker ÜSTOĞLU, Üye
İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Yavuz EREN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Bina Otomasyonu ve İklimlendirme Sistemlerinin Kontrolü başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Gürcan Şahin AKINCI

İmza

Aileme

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca konusundaki uzmanlığıyla bilgi ve deneyimi ile beni destekleyen, bana yardımlarını esirgemeyen, fazlasıyla yardımcı, sabırlı ve anlayışlı davranan kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yavuz EREN'e kendim ve ailem adına en içten teşekkürlerimizi sunarım.

Hayatım boyunca desteklerini benden esirgemeyen sevgili annem Nurten AKINCI ve babam Ali Haydar AKINCI'ya sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım. Bana hem hayatta hem akademide yol gösterici olan ablam Doç. Dr. Eda TURAN'a teşekkür ederim.

Hayatıma dokunan tüm hocalarıma teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Gürcan Şahin AKINCI

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

TABLO LİSTESİ xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xv

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 9

1.3 Hipotez 10

2 İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ 11

2.1 İklimlendirme Sistem Bileşenleri 11

2.1.1 Isıtma Cihazları 11

2.1.2 Soğutma Cihazları 13

2.1.3 Havalandırma Cihazları 14

2.1.4 Binalar İçin İklimlendirme Sistem Seçimi 15

2.2 İklimlendirme Otomasyonu 15

3 SİSTEM TANIMI 17

3.1 Hibrit Güç Sistemi 17

3.2 Hibrit Güç Sisteminin Optimizasyon Eğilimli Modellenmesi 19

3.2.1 Rüzgar Türbini Modeli 20

3.2.2 Güneş Pili Modeli 23

3.2.3 Batarya Modeli 26

3.3 Güç Sistemi Yük Paylaşımları 29

4 OPTİMİZASYON ÇALIŞMASI 32

4.1 Optimizasyon Nedir? 32

4.1.1 Lineer Optimizasyon 34

4.2 Sisteme Ait Optimizasyon Probleminin Tanımlanması 34
4.3 Karışık Tam Sayılı Optimizasyon Programı 35

5 SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI **38**

5.1 Simülasyon Çalışmalarında Kullanılan Parametreler ve İklimlendirme Yükleri 38
5.2 Simülasyon Çalışmaları ve Sonuçlar 44

6 SONUÇ VE ÖNERİLER **52**

KAYNAKÇA **56**

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **61**

SİMGE LİSTESİ

$P_{Bat,S}(t)$	Anlık batarya şarj gücü (kW)
$P_{Bat,D}(t)$	Anlık batarya deşarj gücü (kW)
$H_r(t)$	Anlık rüzgar hızı (m/s)
$P_R(t)$	Anlık rüzgar türbini güç değeri (kW)
$E_{BED,b}$	Başlangıç durumundaki bataryanın enerji durumu (kWs)
BED	Bataryada depolanan enerjinin anlık durumu
$K_{D,Bat}$	Batarya deşarj gücünün kısıtlama parametresi
$Vr_{D,Bat}$	Batarya deşarj verimi
$K_{S,Bat}$	Batarya şarj gücünün kısıtlama parametresi
$Vr_{S,Bat}$	Batarya şarj verimi
$E_{BED,mak}$	Bataryanın sahip olabileceği maksimum enerji değeri (kWs)
$E_{BED,min}$	Bataryanın sahip olabileceği minimum enerji değeri (kWs)
Y_1	Bilinen rüzgar hızının bulunduğu yükseklik (m)
Y_2	Bilinmeyen rüzgar hızının bulunduğu yükseklik (m) - Rüzgar Türbini çalışma yüksekliği
$H_{r,1}$	Bilinen yükseklikteki bilinen anlık rüzgar hızı (m/s)
$H_{r,2}$	Bilinen yükseklikteki bilinmeyen anlık rüzgar hızı (m/s)
Δ	Bir saat içindeki zaman aralığı sayısı
°C	Celcius - santigrat derece
K	Çok büyük bir tam sayı
$P_{Gp,Gr}(t)$	Gerçek güneş pili elektriksel gücü (kW)
$P_{R,Gr}(t)$	Gerçek rüzgar türbini elektriksel gücü (kW)
α	Güç üssü – Hellmann üssü
$P_{Gp}(t)$	Güneş pili panelinin anlık elektriksel güç üretim değeri (kW)
$GP_A(t)$	Güneş pili panelinin toplam alanı (m^2)
V_{GP}	Güneş pili panelinin verimliliği
ρ	Hava yoğunluğu
$G_I(t)$	Işınım değeri (W/m^2)
$P_h(t))$	İhtiyaç durumunda şebekeden çekilen güç (kW)
b_{Bat}	İkili değişken tipi

$P_{İY}(t)$	İklimlendirme talep gücü (kW)
$P_{R,İY}(t)$	İklimlendirme yükleri için kullanılan rüzgar türbini gücü (kW)
$P_{R,DY}(t)$ (kW)	İklimlendirme yükleri karşılandıktan sonra kalan rüzgar türbini gücü
kW	Kilowatt
kWs	Kilowatt saat
m	Metre
m/s	Metre bölü saniye
m^2	Metrekare
$P_{Bat,nom}$	Nominal batarya gücü (kW)
R_{nom}	Nominal rüzgar türbini gücü (kW)
GP_{nom}	Nominal güneş pili gücü (W)
$\tau_{GP,Kon}$	Güneş pili dönüştürücü (konverter) verimliliği
$\tau_{r,Kon}$	Rüzgar türbini dönüştürücü (konverter) verimliliği
Rt_r	Rüzgar türbini rotor yarıçapı (m)
τ_r	Rüzgar türbini verimliliği
$P_{GP,Ur}(t)$	Üretilen güneş pili gücü (kW)
$P_{R,Ur}(t)$	Üretilen rüzgar türbini gücü (kW)
kWh/m^2-yıl	Yıllık bazda metrekare başına enerji tüketimi
$E_{BED}(t)$	Zaman aralıkları için bataryadaki anlık enerji durumu (kWs)
W/m^2	Watt bölü metrekare

KISALTMA LİSTESİ

Bat	Batarya
Covid-19	Yeni Tip Korona Virüs Hastalığı
GP	Güneş Pili
HVAC	Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
JRC	Joint Research Centre - Ortak Araştırma Merkezi
PV	Photovoltaic
RG	Referans Göstergesi
RT	Rüzgar Türbini
TM	Toplam Maliyet Fonksiyonu
WT	Wind Turbine

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Hastanelerde enerji tüketimi yük dağılımı [4] 3
Şekil 2.1 Kazan sistemi 12
Şekil 2.2 Pompa grubu 12
Şekil 2.3 Soğutma grupları 13
Şekil 2.4 Taze havalı klima santrali 14
Şekil 2.5 Klima santralinin otomasyon üzerinden izlenmesi 16
Şekil 3.1 Hibrit güç sistemleri 18
Şekil 3.2 Elektrik dağıtım şebekeleri 19
Şekil 3.3 Rüzgar çiftliği ile evlerin enerji ihtiyacının giderilmesi 21
Şekil 3.4 RT'nin rotor yarıçapı gösterimi 22
Şekil 3.5 Güneş enerjisi kullanan ve ihtiyaç fazlası elektriği satabilen ev 24
Şekil 3.6 Örnek bir hibrit güç sisteminde bataryanın kullanımı 27
Şekil 4.1 İnsan yaşamında optimizasyon 33
Şekil 4.2 GAMS programında örnek bir çalışma 36
Şekil 4.3 Adım adım kullanılan programlar ve yapılan işlemler 37
Şekil 5.1 Roma San Giovanni Hastanesi Durum-1 ve Durum-2 için iklimlendirme cihazlarının güç talepleri [34,35] 40
Şekil 5.2 Roma San Giovanni Hastanesi konumundaki Durum-1 ve Durum-2 için 10 metre yükseklikteki saatlik rüzgar hızı [51] 41
Şekil 5.3 Roma San Giovanni Hastanesi konumundaki Durum-1 ve Durum-2 için saatlik ışınım [51] 42
Şekil 5.4 Roma San Giovanni Hastanesi konumundaki Durum-1 için 49 metre yükseklikteki saatlik rüzgar hızı 43
Şekil 5.5 Roma San Giovanni Hastanesi konumundaki Durum-2 için 49 metre yükseklikteki saatlik rüzgar hızı 43
Şekil 5.6 Durum-1 ve Durum-2 için üretilen RT ve GP güçleri 45
Şekil 5.7 Durum-1 için iklimlendirme yüklerinin güç talep cevabı uygulaması .. 46
Şekil 5.8 Durum-1'de iklimlendirme ve diğer yüklerin RT gücü tarafından karşılanması 47
Şekil 5.9 Durum-1'de batarya enerji durumu ve bataryanın şarj olma ve deşarj olma güçleri 48
Şekil 5.10 Durum-2 için iklimlendirme yüklerinin güç talep cevabı uygulaması 49

Şekil 5.11 Durum-2'de iklimlendirme ve diğer yüklerin RT gücü tarafından karşılanması 50

Şekil 5.12 Durum-2'de batarya enerji durumu ve bataryanın şarj olma ve deşarj olma güçleri 51

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Birincil enerjiye göre RG (kWs/m^2-yıl) [3] 2
Tablo 5.1 Simülasyon Parametreleri 38

ÖZET

Hibrit Güç Sistemleri İle İklimlendirme Sistem Yüklerinin Optimizasyon Temelli İşletim Modellemesi Ve Hastane İklimlendirme Sistemi Talep Cevabı Uygulaması

Gürcan Şahin AKINCI

Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yavuz EREN

Elektrik enerji üretiminde fosil yakıtların artan oranda kullanımı ekosistemimiz üzerinde yıkıcı etkilere sebep olmuştur. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarının genel enerji talebini karşılamadaki payının daha çok arttırılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı konusunda elektriksel yüklerin sınıflandırılması ve yüksek enerji talep eden yüklerin öncelikli olarak yenilenebilir kaynaklardan sağlanması fikri literatürde sıklıkla konu edilmektedir. Bu çalışmada da benzer bir yol izlenerek, kamu kuruluşları, hastane, okul vb. gibi kurumların iklimlendirme cihazlarının yük talebinin karşılanmasında alternatif enerji kaynaklarından optimal olarak yararlanma stratejisi ele alınmıştır. İklimlendirme yüklerinin karşılanmasında rüzgar türbini (RT), güneş pili (GP) ve batarya (Bat) bileşenlerinden oluşan hibrit güç sistemi önerilmiştir. Hibrit güç sistemi optimal talep cevabı uygulamasında kullanılmasına imkan verecek şekilde modellenmiştir. Alternatif enerji kaynaklarının hava olaylarından kaynaklı olarak sürekli güç sağlayamama durumunu engellemek adına kısmi şebeke gücü de sisteme eklenmiştir.

Optimizasyon probleminde alternatif enerji kaynaklarının maksimum kapasitede kullanımı ve ilgili kaynakların öncelikli olarak iklimlendirme yüklerinin talebine cevap verecek şekilde kullanımı amaç olarak belirlenmiştir. Elde edilen karışık tamsayı lineer programlama modeli GAMS v.24.1.3 ortamında CPLEX v.12 çözücüsü ile test edilmiştir. Kış ve yaz koşulları dikkate alınarak optimal işletim modelinin benzetim çalışmaları yapılmıştır ve ilgili sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hibrit Güç Sistemi, Talep Cevabı, Optimizasyon, Rüzgar Türbini, Güneş Pili, İklimlendirme Yükleri.

ABSTRACT

Optimization Based Operation Modeling of Heating, Ventilation and Air Conditioning System Loads with Hybrid Power Systems and Demand Response Application for Heating, Ventilation and Air Conditioning System of a Hospital

Gürcan Şahin AKINCI

Department of Control and Automation Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Yavuz EREN

The increasing utilization of fossil fuels in electrical energy production has had devastating effects on our ecosystem. This situation necessitates increasing the share of renewable energy sources to meet the energy demand. In this manner, classification of the electrical loads and the idea of providing high energy demanding loads from the renewable sources are frequently discussed in the literature. Considering the similar approach, in this study, optimal power management strategy to make optimal operation of the alternative sources has been proposed to meet the load demand of heating, ventilations and air conditioning (HVAC) units for public institutions, hospitals, schools, etc. A hybrid power system consisting of wind turbine (WT), photovoltaics (PV) and battery has been presented. The hybrid power system is modelled to be utilized in an optimal demand response application. Moreover, the grid has been included to the hybrid power system to compansate the intermittent generation characteristics of alternative power sources. The objectives defined by the optimization problem are

the utilizing of the alternative power sources at the maximum rate and meeting primarily the HVAC load demand by the relevant sources. Proposed mixed-integer linear programming model is tested in GAMS v.24.1.3 platform using the solver CPLEX v.12.

Keywords: Hybrid Power System, Demand Response, Optimization, Wind Turbine, Photovoltaics, HVAC Loads.

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Kamu kuruluşları, hastane, okul vb. gibi kurumlar ve konutlar, binalar kategorisine girmektedir. Binalar dünyadaki enerji tüketiminin yüzde kırkını oluşturmaktadır [1]. Binaların bu oranda enerji tüketmesinin sebebi, bilindiği üzere modern dünyada yetişkin yaş grubu insanların, gündüzlerini çalıştıkları iş yerlerinde, akşamlarını da evlerinde geçirerek günün büyük bölümünde binalarda bulunmasıdır. Yetişkin olmayan grup, yani çocukların yaşamları göz önüne alındığında ise gündüzlerinin okulda, akşamlarının ise evde geçtiği görülmektedir. Anlaşıldığı üzere insanlar, yaş fark etmeksizin yaşamının çoğunu binalarda geçirmektedir. Buradan hareketle binalarda enerji verimliliği sağlayabilecek yöntemlerin uygulanması dünyamız için mantıklı olacaktır. Binaların tiplerine ve özelliklerine göre harcadıkları enerji miktarı da değişmektedir. İkinci öğretime sahip olmayan bir üniversite gündüzleri ağırladığı insan kapasitesi fazla olduğu için enerji tüketimi gündüz vaktinde fazladır. Ancak bu üniversitenin gece vakitlerinde ağırladığı insan sayısı azaldığı için enerji tüketimi gündüz vakitlerine göre az olacaktır. Bu bina tipinde olan ama farklı olarak ikinci öğretimi olan bir üniversitenin ise geceleri de eğitim vermesinden kaynaklı olarak sınıfların aydınlatmasının, ısıtmasının veya soğutmasının aktif olması sebebi ile bu üniversitenin bir günlük enerji tüketimi, ikinci öğretimi olmayan üniversiteye göre daha fazla olacağı aşikârdır.

Dünyada yedi gün yirmi dört saat yaşayan binalar da bulunmaktadır. Bu bina tipine, sağlık sektöründe daha çok rastlanmaktadır. Bunlara hastane veya acil sağlık merkezi gibi sağlık tesisleri örnek olarak verilebilir. Bu sağlık hizmetlerinden biri olan hastane için “yataklı sağlık tesisi tanımı yapılmaktadır” [2]. Yataklı sağlık tesisleri, yedi gün yirmi dört saat hizmet verdiği için enerji tüketimi yüksek seviyelerdedir. Tablo 1.1’deki enerji bakanlığı verilerine göre sağlık tesisleri, binalar kategorisinde referans göstergesi (RG) bazında 600

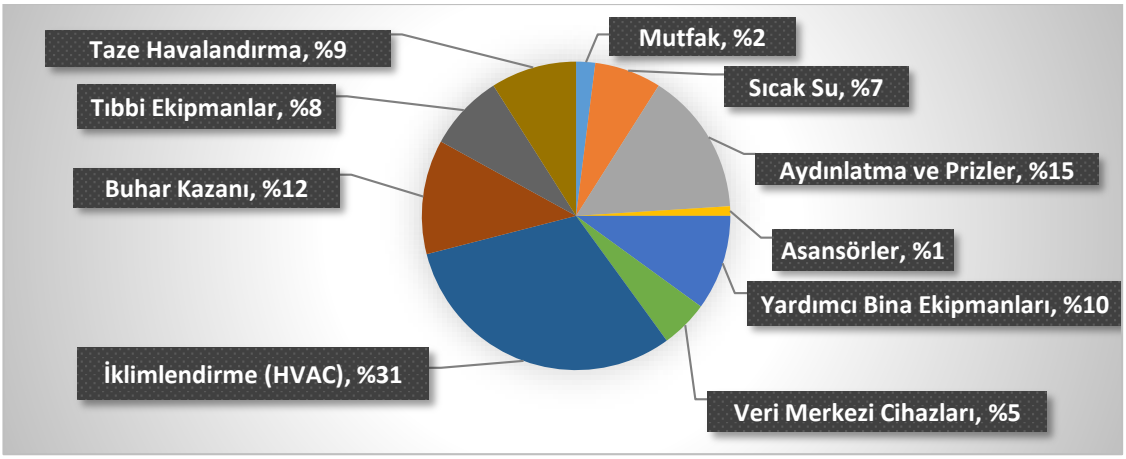
kWs/m^2-yıl ile alışveriş merkezlerinden sonra en çok enerji tüketen bina tipidir [3].

Tablo 1.1 Birincil enerjiye göre RG (kWs/m^2-yıl) [3]

Bina Tipi	Kullanım Amaçları	1.ısıtma bölgesi (RG)	2.ısıtma bölgesi (RG)	3.ısıtma bölgesi (RG)	4.ısıtma bölgesi (RG)
Konutlar:	Tek ve ikiz aile evleri	165	240	285	420
	Apartman blokları	180	255	300	435
Hizmet Binaları:	Ofis ve Büro Binaları	240	300	360	495
	Eğitim Binaları	180	255	300	450
	Sağlık Tesisleri	600			
Ticari Binalar:	Otel, Motel, Restoran	540			
	Alışveriş Merkezleri	750			

Sağlık tesislerindeki güç tüketimine sebep olan yüklerin dağılımı Şekil 1.1'de görülmektedir. Şekil incelendiğinde en büyük payı %31 oranı ile iklimlendirme

(Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme-HVAC) yüklerinin oluşturduğu görülmektedir [4].



Şekil 1.1 Hastanelerde enerji tüketimi yük dağılımı [4]

Enerji tüketimini azaltmayı hedefleyen stratejiler talep cevabı olarak bilinmektedir. Şekil 1.1 incelendiğinde iklimlendirme yüklerinin en büyük payı oluşturması sebebi ile bu yükler için oluşturulacak optimal talep cevabı yöntemi geliştirilmesi gerektiği görülmektedir. Böylece güç tüketiminde olumlu bir değişim gözlenebilecektir.

Binalardaki enerji verimliliğini sağlamak için insanların konfor şartlarını dengeleyerek enerji tüketimi azaltmayı ve elektrik fiyatının pahalı olduğu vakitlerde istenen konfor şartlarının tam tutturulması yerine bu konfor değerlerinden belli oranlarda uzaklaşılması üzerine çalışmalar yapılmıştır [5]. Bu şekilde tüketim pik yükünün (puant yük) azaltılması ile, iklimlendirme yüklerinin talep cevabının karşılaştırılmasında optimal uygulama sağlanması hedeflenmektedir. İklimlendirmenin amaçlarından biri de mesken sakinlerinin konfor seviyesini gözetmektir. Çağımızda insana verilen değer git gide artmaktadır. Her bina için konfor şartlarından feragat etmek iyi olmamaktadır. İş yerlerinde, insanların konfor seviyesini arttırmak, çalışan verimliliğini arttıracaktır. Çalışan verimliliğin artması ise şirket adına daha fazla karlılık demektir. Bu nedenle şirketler için özel bir iklimlendirme uygulamaları uygulanabilmektedir.

Günümüzde yeşil bina sertifikası alabilecek yeterlilikte bina yapımının arttığı bilinmektedir. Yeşil bina uygulamaları hem dünyamızın geleceği için gerekliyken, hem de firmalar açısından son derece itibarlı bir uygulamadır. Yeşil bina sertifikasındaki puanlamalara katkı sağlamak adına iklimlendirme yüklerinin karşılanmasında kullanılan enerji kaynaklarının optimal düzeyde kullanılması önem arz etmektedir [6]. Oluşabilecek yükün önceden tahmini yapmak enerji yönetim sistemini önceden hazırlar ve binaya özel yapılan iklimlendirme uygulaması ile de enerji verimliliği sağlanır [6]. Yeşil bina çalışmaları hastaneler için de yapılmıştır [7]. Hastanelerin diğer binalara nazaran yeşil sertifika alması daha zordur. Bu zorlukların başında hastaneler sadece konfor odaklı olmadığı, insan yaşamını koruyacak cihazlar içerdiğinden dolayı bazı cihazlarda tasarruf yapılamayacağı tespit edilmiştir [7]. Bu nedenle normal binalara göre hastanelerin yeşil bina olarak sertifikasyonu daha meşakkatli olup, titizlikle incelenmelidir.

İnsanların şahsına ait evlerde ise daha farklı stratejiler uygulanabilmektedir. Evlerde bulunan kullanımı ötelenebilir yükler sayesinde çeşitli enerji verimliliği uygulamaları yapılabilmektedir. Kullanımı ötelenebilir yük olarak bahsedilen cihazlar; çamaşır makinesi ve bulaşık makinesi gibi çalışacağı zamanın ötelenebileceği cihazlardır [8]. Kullanımı ötelenemeyen yükler için ise aydınlatma, buzdolabı, fırın ve televizyon örnek olarak verilebilir. Hane halkının, gün ışığından yararlanamayacağı saatlerde bir aktivite yapabilmesi için aydınlatmanın aktif hale getirilmesi gereklidir. Buradan aydınlatmanın günlük olarak aktif olacağı vakitlerin belli olduğu ve kullanımının ötelenemeyeceği anlaşılmaktadır. Aynı şekilde kullanımı ötelenemeyen diğer bir yük olan televizyonun çalışacağı zaman ise genelde hane halkının takip ettiği televizyon programı takvimine göre belirli olduğu için kullanımı ötelenemeyen bir yüktür. Bu kullanımı ötelenebilen yüklerin, şebekeden enerji tüketim bedelinin minimum fiyat tarifesinden işlediği gece saatlerinde kullanımı ile maliyet fonksiyonunun minimuma getirilmesinde katkı sağlayabilmektedir [8]. Maliyet fonksiyonu evin şebekeden satın aldığı elektrik ile evin üretip şebekeye sattığı elektriğin birbirini karşılayıp sıfırlaması veya olabildiğince minimuma indirgenmesini hedeflemektedir [8]. Müstakil bir ev ve elektrikli arabaya sahip olan bir sistem

düşünüldüğünde, “şebekeden alınan elektriğin tüketim bedelinin en az olduğu saatte elektrikli arabanın şarj edilmesi ile tüketim maliyeti diğer pahalı saatlerde şarja göre azaltılmış olur. Devamında şebekenin en pahalı enerji tarife saatinde evin enerji ihtiyacının elektrikli arabanın bataryasından karşılanması ile de maliyet fonksiyonu minimuma indirgenebilmektedir” [8].

İklimlendirme yüklerine karşılık talep cevabı stratejilerinin geliştirilip uygulandığı çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Son kullanıcı olan ev sakinlerinin konfor anlamında minimumda etkileyecek şekilde iklimlendirme yüklerinden kaynaklanan talep cevabının belirli sürelerde değiştirilmesi ile optimizasyon hedefleyen bir çözüm kullanılmıştır [9]. Enerji optimizasyonu konusunda literatürde zengin kaynaklar bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji sistemlerindeki optimizasyonu konu alan ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik sağlanması ile sürdürülebilir bir şekilde enerji hizmetinin sağlanabileceğini gösteren çalışmalar bu kaynaklara örnektir [10,11].

Büyük iklimlendirme sistemlerinin yer aldığı ticari binalardaki iklimlendirme sistemlerinin birbirinden uzakta olması sebebiyle talep cevabı uygulaması geliştirmek diğer küçük binalara göre zordur. Ancak bina otomasyonu sistemlerinin sağladığı haberleşme tipleri sayesinde bu ayrık iklimlendirme yüklerine karşılık başarılı bir talep cevabı uygulamasının geliştirilebileceği görülmüştür [12]. Yine ticari binalarda olan bir çalışma örneğinde ise iklimlendirme yüklerine sebep olan havalandırma cihazlarının binadaki insan yoğunluğu durumuna göre dengeli olarak çalıştırılması ile iklimlendirme yüklerine yönelik bir talep cevabı geliştirilmiştir [13]. İklimlendirme cihazlarının kullanımının zirve yaptığı saatlerdeki enerji talebi maksimumdur. Bu bağlamda bu saatlerde yapılabilecek yük atımı ile enerji talebinde bir dengelenme yapılması mümkündür. Bu da yoğun saatlerde istenen ortam sıcaklık ve nem değerlerinin ayarlanması ile yani iklimlendirme sisteminin çalışma oranının değiştirilmesi ile başarılabilir [14,15]. Böyle bir yük atımı ile enerji talebi dengelenmiş olur. Literatürde buna benzer olarak iklimlendirme cihazlarının istenen değer girdilerinin ayarlanması ile enerjide kazanç sağlandığı ve kullanım yükünün azaltıldığı çalışmaların olması bu yöntemin başarılı olduğunu göstermektedir [16].

Talep cevabı uygulamalarında bulanık mantık kontrolcü kullanılarak da uygulamalar geliştirilmiştir [17,18]. Bulanık mantık kontrolcünün rolü, evin anlık olarak ihtiyacı olan gücü nereden çekeceğine ve çeşitli yük kaydırmaları ile enerji dengelenmesini sağlamaktır [17]. Bu şekilde güneş ve rüzgar kaynaklarından elektrik üretimine sahip bir hibrit güç sistemi uygulaması ile şebekeden bağımsız mesken projesi yapılmıştır [17]. Bulanık mantık kontrolcü kullanılarak iklimlendirme cihazlarına yönelik talep cevabı uygulaması geliştirilmiştir. Ayrıca elektrik tüketim fiyatlandırması da işin içine dahil edilerek zamana göre farklı fiyat politikasından yararlanılarak maliyet fonksiyonu için de etkili bir çalışma oluşması sağlanmıştır [18]. Literatürdeki bir diğer fiyatlandırma etkisinin konu olarak alındığı çalışmada, diğer çalışmalardan farklı olarak Stackelberg'in oyun teorisi kullanılmıştır [19]. Bu teoride "gerçek zamanlı fiyat lider olarak, şebeke de takipçi olarak kabul edilmiştir" [19]. Gerçek zamanlı fiyata göre iklimlendirme cihazlarının optimal olarak çalışması sağlanarak şebekeden çekilen enerji miktarı düzenlendiği için maliyet fonksiyonu da minimuma indirgenmesi gerçekleşmiştir [19]. Literatürde fiyatlandırma konusunda çoğunlukla son kullanıcı açısından maliyet düşürme çalışmaları hedeflenmiştir. Ancak literatürde enerji dağıtım firmalarının optimal fiyatlandırmaya ulaşması için de yapılmış çalışmalar mevcuttur [20]. Dağıtım firmaları için optimal fiyatlandırmaya ek olarak kullanıcılara ait iklimlendirme sistemlerinin çalışmasını ayarlayarak, dağıtım firmasının kar olarak en yüksek rakamlara ulaşması ve son kullanıcılarının da faturasının en düşük rakamlara getirilmesi hedeflenmektedir [20]. Son kullanıcının iklimlendirme cihazlarını enerji tüketiminin en yoğun zamanda çalıştırmaya başlatmaktansa, iklimlendirme cihazlarını yoğun zamandan önce çalışmaya başlatarak, istenilen ortam koşulları değerlerine ulaştırır ve en yoğun zamanda iklimlendirme cihazlarının minimumda kullanımı ile son kullanıcının faturaları azaltılmıştır [20]. Fiyatlandırma konusunda avantaj sağlayabilecek başka çalışmalar da literatürde yer almaktadır. Çalışmalar arasında yöntem farklılıkları vardır. Bunlardan biri yük tahmini yapılmasıdır. Enerji ölçümü için kullanılan analizörler ile bir meskenin günlük, haftalık, aylık ve yıllık olarak kullandığı enerji yükünün grafiği çıkarılabilir. Bu grafiğe karşılık çıkarılan tahminci kontrol ile iklimlendirme cihazları için bir takvim çıkarılarak hem

faturada kazançlar sağlanır hem de enerji verimliliği sağlanır [21]. Çalışmalarda bahsedilen istenen ortam koşullarının ayarlanarak enerji verimliliği sağlanan çalışmalar için ortam koşullarının kabul edilebilir seviyede olduğunu belirtmek gerekir. Buna açıklık getirmesi için yüklerin kaydırıldığı ve iklimlendirme cihazlarının performansının dengelendiği bir çalışmada "Amerikan Isıtma, Soğutma ve Havalandırma Mühendisleri Derneği'nin belirlediği referans ortam koşullarına uyulduğunu gösteren değerler" yayınlanmıştır [22].

Literatürde ofis binalarında bulunan iklimlendirme yükleri için de talep cevabı uygulamaları mevcuttur [23,24]. Ofis binaları, evlerden farklı olarak gün içerisinde odalarının doluluk durumu değişebilmektedir. Gün içerisinde toplantı odasının, toplantı zamanlarında dolu olması ve toplantı olmayan zamanlarda ise boş olması durumu buna örnek olarak verilebilir. Ofis odalarına konulacak varlık algılayıcı sensörler ile odada insan olup olmadığı anlaşılabilir. Böylece boş olan odada iklimlendirme yapmak yerine bu iklimlendirme cihazlarının ekonomi veya kapalı konuma alınması ile iklimlendirme yüklerinin azaltılmasına katkı sağlanmış olur [23]. Aynı zamanda bu varlık sensörleri üzerinden alınacak kayıtlar ile günlük olarak odaların hangi vakitlerde dolu veya boş olduğu bilgisi alınabilmektedir [23]. Böylece ilerleyen günleri tahmin eden bir takvim ile verimliliğe olumlu yönde etki sağlanabilmektedir [23]. Günümüzde kullanımı artmakta olan makine öğrenmesi yöntemi de iklim yüklerine karşılık düzenlenen talep cevabı uygulamalarında kullanılmaktadır [24].

Literatürdeki yapılmış bazı talep cevabı uygulamaları için tüm iklimlendirme cihazlarını ele almak yerine sadece belli başlı cihazlar da ele alınabilmektedir. Binalardaki iklimlendirme cihazlarından biri olan soğutma gruplarını da ele alan çalışmalar bulunmaktadır [24,25]. Soğutma grupları yazın daha aktif kullanıldığı için zamana göre dinamik yük modeli çıkarılması gerekmektedir [25]. Böylece daha başarılı bir optimal talep cevabı uygulaması gerçekleşebilecektir [25].

Sağlık tesisleri özelinde de enerji kavramı üzerinden yapılmış farklı çalışmalar bulunmaktadır. Çalışmalar sağlık tesislerinin bulunduğu bölgeye göre incelediği için tesislerdeki iklimlendirme cihazları bölgeye göre değişmektedir. Afrika

ülkelerinde hava dört mevsim sıcak olduğu için soğutma gruplarının yükü fazla olurken, ısıtma yükleri ise Avrupa'daki hastanelere göre düşük olmaktadır [27].

Literatürde bazı çalışmaların sağlık tesislerinde iklimlendirme yüklerinin üzerine tıbbi ekipmanlardan kaynaklanan yükleri de konularına dahil ettikleri gözlenmektedir [28]. Hastanelerin tüketilen elektrik yük profilini çıkaran çalışmaların yöntemleri farklılık göstermektedir. K-ortalama kümeleme algoritmasını kullanarak büyük hastaneler için oluşan büyük verinin incelenmesini sağlayan çalışmalar mevcuttur [29]. Diğer bina tiplerinde yapılmış olan konfor koşullarının düzenlenmesiyle ilgili çalışmalar sağlık tesisleri için de yapılmıştır. Sağlık tesislerindeki odalara varlık sensörleri konularak o bölgede insan olup olmadığı anlaşılması ile oda bazında konfor şartları düşürülerek iklimlendirme yüklerinin azaltılması sağlanmıştır [30]. Sağlık tesislerinde enerji tüketimini azaltmak için modern yöntemler kullanıldığı gibi geleneksel yöntemlerin kullanılması ile de enerji tüketiminin azaltıldığı örnekler mevcuttur. Sağlık tesislerindeki eski iklimlendirme cihazlarının yeni ve enerji verimlilikleri yüksek olan cihazlarla değiştirilmesi veya dışarıdaki havayı içeri kaçıran eski tek camlı pencerelerin yerine daha iyi çift camlı pencerelerin takılması bu geleneksel yöntemlere örnektir [31]. Sağlık tesisindeki konfor şartlarını değiştirmeden, sadece bu geleneksel yöntemler sayesinde yıllık elektrik tüketiminin %10 azaldığı görülmektedir [31]. Sağlık tesislerinin bulunduğu bölgeler sadece iklim için değil, jeoloji açısından da önemlidir. Japonya gibi doğal afetlerin diğer ülkelere göre çok yaşandığı bir ülkede bazı hastanelerin günlerce enerji yoksunluğu çektiği görülmüştür [32]. Özellikle adalarda bulunan hastanelerin tsunami diye adlandırılan doğal afetten etkilendiği bilinmektedir. Adalardaki hastanelerin enerji eksikliğini engellemek adına alternatif enerji kaynağı olan güneş pili (GP) ve buna ek olarak batarya (Bat) kullanımı ile hastanenin enerji talebine cevap vermesi amaçlanmıştır [32]. Literatürde alternatif enerji kullanımına yönelik sadece güneş kullanılmamıştır. Rüzgar türbini (RT) kurulumu ile rüzgar enerjisinden yararlanılan çalışmalar mevcuttur [33]. Bir hastane için kurulacak RT ile hastanenin enerji tüketimine nasıl bir katkı sağlayabileceği ve RT tipleri incelenmiştir [33]. Sağlık tesislerine kurulacak olan RT tipinin boyutları arttıkça ürettiği enerji de artmaktadır [33]. Ancak kurulan RT boyutlarının hastane

çevresine uygun olduğunun netleştirilmesi lazımdır. Şehir hastaneleri gibi kendine ait büyük bir alana sahip olan hastanelerde kurulacak RT'nin boyutu, ilçe merkezinde olan küçük bir hastaneye göre daha büyük seçilebilme imkanı verecektir. Bu nedenlerden dolayı RT tiplerinin ürettiği enerji miktarları farklılık gösterecektir.

Literatürde sağlık tesisleri için nadir rastlanan içeriklerden biri hastanedeki iklim cihazlarının oluşturduğu yüklerin günlük olarak detaylı veri ve grafiğin yer almasıdır. İtalya'nın başkenti Roma'da bulunan San Giovanni hastanesinde yaptıkları uygulamalı çalışma ile hastanenin toplam enerji tüketimi ve iklimlendirme cihazlarının yüklerini inceleyen Prudenzi ve arkadaşları literatüre önemli bir katkı yapmıştır [34,35].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın hedeflediği bina tipleri kamu, okullar ve hastaneler gibi binalardır. Bu binaların ağırladığı insan sayısının fazla olması ve iklimlendirme ihtiyacı olan bölgelerin genişliğinden ötürü ısıtma, soğutma vb. iklimlendirme cihazlarının sayısı ve kapasitesi fazladır. Bu nedenle iklimlendirme cihazları diğer bina tiplerine göre daha yoğun kullanıldığı için iklimlendirme yüklerinin talep ettiği güç fazladır. İklimlendirme yüklerinden doğan güç ihtiyacından dolayı şebekeden yoğun bir kullanım söz konusudur. Bu çalışmada alternatif güç sistemlerinin kullanımı ile şebekeden alınan gücün azaltılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kamu binaları, okul ve hastane gibi binalar için talep cevabı uygulaması yapılmıştır. Bunun için de RT / GP / Bat ile teşkil edilen hibrit güç sisteminin kullanımı iklimlendirme yüklerinin karşılanması için önerilmiştir. Ayrıca alternatif enerji kaynaklarının iklim olayları dolayasıyla yetersiz güç üretmeleri durumunda enerjinin şebekeden sağlanması da düşünülmüştür. Bahsedilen binaların yapımında alternatif güç kaynaklarının kullanılmasının düşünülmesi ve projelerinde yer verilmesi ekonomiye katkı sağlayacaktır.

1.3 Hipotez

Binalardaki enerji tüketimine sebep veren yükler incelendiğinde, en çok paya sahip olan iklimlendirme yükleri için bir talep cevabı uygulaması yapılmasının mantıklı olacağı görülmektedir. Bu bağlamda, bu tezde iklimlendirme yüklerinin maksimum oranda karşılanması için hazırlanan talep cevabı uygulamasında optimizasyon eğilimli alternatif enerji kaynaklarından oluşan bir hibrit güç sisteminin kullanılması önerilmektedir. Böylece iklimlendirme yüklerinin karşılanması için şebekeden alınacak gücün minimuma getirilmesi beklenmektedir. Beklenen sonuçlara ulaşılası durumunda, toplam maliyet fonksiyonu minimuma getirilmiş olacaktır.

2
İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ

Bu bölümde binalarda bulunan iklimlendirme sistemlerine, yabancı kaynaklarda geçen isimlendirmesiyle ise Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme (HVAC) sistemlerine yer verilmiştir. Ayrıca bu iklimlendirme sistemlerinin kontrolü ve verimliliği için kurulan bina otomasyonundan bahsedilmiştir.

2.1 İklimlendirme Sistem Bileşenleri

İklimlendirme Sistemleri binalara şartlandırılmış hava sağlamak için geliştirilmiş sistemlerdir. Ortama verilen havanın sıcaklığının, neminin veya taze hava oranının ayarlanması yani ortamın konforunun ayarlanmasına şartlandırma denir [36]. Bahsedilen tüm şartlandırma gereklikleri her ortam için aynı değildir. Tek kişilik bir ofis odası için sadece sıcaklığın ayarlanması yeterli olabilirken, toplantı odasının ise hava kalitesinin ayarlanması gerekmektedir. Bunun için de ortamın hava kalitesi izlenerek, duruma göre taze hava giriş oranı değiştirilmektedir. Bu işlemlerin yapılmasını sağlayan birincil iklimlendirme cihazlar ise ısıtma, soğutma ve havalandırma cihazlarıdır [36].

2.1.1 Isıtma Cihazları

Isıtma sistemini besleyen bir başka deyişle iklimlendirme sisteminde sıcak su ihtiyacını sağlayan cihaz kazandır. Kazandaki suyun ısıtılmasını sağlayan yanma işlemi için brülör çalıştırılır. Kazana giren su, yüzeyden aldığı sıcaklık ile ısınır. Bu ısınan su binayı beslemek üzere pompalar yardımıyla gönderilir. Bu sistem Şekil 2.1'de görülebilmektedir. Isıtma ve soğutma sisteminde ısı değiştiricileri de rol almaktadır. İki ayrı sistemdeki suyun birbirlerine karışmadan ısı transferi ile sıcaklıklarının değiştirilmesini sağlayan cihazlara ısı değiştiricileri denir.



Şekil 2.1 Kazan sistemi

Merkezi ısıtma sisteminden çıkan su, Şekil 2.2'deki gibi pompalarla gerekli bölgelere iletilecektir. Pompalar aracılığıyla sadece sıcak su değil, soğuk veya sıcaklığı değiştirilmemiş su da taşınmaktadır.



Şekil 2.2 Pompa grubu

2.1.2 Soğutma Cihazları

Isıtma sistemi binanın sıcak su ihtiyacını karşılarken soğutma sistemi ise binanın soğuk su ihtiyacını karşılamaktadır. Binalardaki soğutma cihazları içerisinde iki önemli cihaz bulunmaktadır. Bunlar soğutma grupları ve soğutma kuleleridir. Bu iki cihazında aynı binada bulunduğu projeler olduğu gibi sadece birinin bulunabildiği veya hiç bulunmadığı projeler de vardır. İklimlendirme cihazlarının seçimi ile ilgili detaya Başlık 2.1.4'te değinilmiştir. Şekil 2.3'te görülebilen soğutma grupları sıhhi tesisattan gelen normal sıcaklıktaki suyun sıcaklığını düşürmekle görevlidir. Soğutma gruplarının içinde bulunan soğuk gaz ile soğutma gruplarına giriş yapan sıcak su arasında ısı transferi gerçekleşir. Bu şekilde su soğutulmuş olur. Genellikle su sıcaklığı 8 °C'den daha düşüğe getirilir. Soğuyan su binaya yine ısıtma sisteminde olduğu gibi pompalar yardımıyla iletilir. Soğutma grupları ülkemizde genelde yaz aylarında kullanılmaktadır. Soğutma kuleleri ise suyu, soğutma grubu kadar soğutamaz. Ancak bunların kullanım alanı ve çalışma prensibi farklıdır. Soğutma kulelerinin rolü soğutma gruplarına girecek sıcak suyu soğutmaktır. Bunu da soğutma kulesine gelen sıcak suyu kulenin tavanındaki fan ile yukarı taşıyarak, suyun buharlaştırılması ile üzerindeki sıcaklığın atılması ile yapar. Devamında soğuyan su kulenin alt kısmında bulunan ısı değiştiricilerine doğru yol alarak suyun soğukluğu korunmuş olur. Buradan da çıkan soğuk su soğutma grubuna yol alır.



Şekil 2.3 Soğutma grupları

2.1.3 Havalandırma Cihazları

Ortama şartlandırılmış hava sağlayan cihazlara havalandırma cihazları denir. Bu havalandırma cihazlarına örnek olarak klima santralleri, egzoz fanları ve taze hava fanları verilebilir. Taze hava fanları sıcaklık ve nem kontrolü ile ilgisi olmayan sadece üfleme özelliğine sahip, ortama taze hava girişini sağlayan cihazlardır. Taze hava fanları ortama konulacak hava kalitesi sensörleri ile hava kalitesi düştükçe çalıştırılarak ortamdaki havanın taze kalması sağlanabilir. Egzoz fanları ise taze hava fanının tam tersi olarak ortamdaki havayı alıp dışarıya atan fanlardır. Klima santralleri ise Şekil 2.4'te görüleceği üzere büyük cihazlar olup sadece havalandırma amacı ile kullanılmayabilir. Klima santrallerinde bulunan sulu sistemlerle ısıtma veya soğutma yapılabilir. Sulu sistemde ısıtmanın yapılabilmesi için binada bulunan ısıtma sisteminden bir başka deyişle kazandan gelen sıcak su klima santralinin serpantinlerine ulaşıp, klima santralinin hücrelerinden geçen havayı ısıtır böylece ortama sıcak hava verilmiş olur. Sulu soğutmada ise soğutmanın yapılabilmesi için binada bulunan soğutma sisteminden yani soğutma grubundan gelen soğuk su klima santralinin serpantinlerine ulaşıp, klima santralinin hücrelerinden geçen havayı soğutur böylece ortama soğuk hava verilmiş olur.



Şekil 2.4 Taze havalı klima santrali

Klima santralleri %100 taze havalı olabileceği gibi karışım havalı da olabilir. Karışım havalı klima santrallerinde egzoz fanından alınan hava filtreden geçirilerek tekrar ortama geri verilir. Belli miktarda da taze hava ortama verilir. Ortamdaki hava kalite sensörü ile izleme yapılarak taze hava oranı ayarlanmaktadır. Ancak yeni tip korona virüs hastalığı (Covid-19) ile alışveriş

merkezlerindeki ya da halka açık alanlarda bu tip karışımlı uygulamaların yapılması azalmıştır. Bu karışımlı yöntem ameliyathanelerde kullanılmamaktadır. Ameliyathanelere özel yapılan klima santralleri hijyenik tip olarak geçmektedir. Bu hijyenik tip klima santrallerinde diğer santrallere göre daha fazla hava filtresi olur. Hava filtrelerden geçerek parçacıklardan ayrıştırılır. Bazı hijyenik klima santrallerinde filtre sayısı 5 veya daha fazladır. Normal bir klima santralinde ise bu sayı 2 veya 3 olabilir. Buradan uygulamaya göre cihazın tipinin değiştiği anlaşılmaktadır.

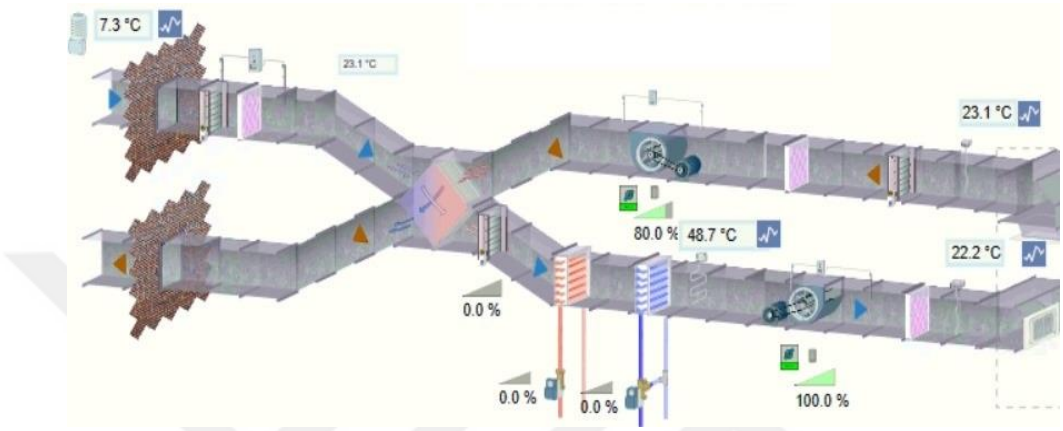
2.1.4 Binalar İçin İklimlendirme Sistem Seçimi

İklimlendirme sistemi seçimi yapılırken öncelikle iki konuya göre seçim yapılmaktadır. Daha sonrasında diğer detaylar devreye girmektedir. Öncelikli olan ilk seçim kriteri, binanın bulunacağı bölgedir. Afrika veya Hindistan gibi dört mevsim sıcak olan bölgelerde ısıtma cihazları bazı projelerde hiç bulunmaz veya düşük kapasiteli ısıtma sistemleri seçilir. Tam tersi olarak Sibirya bölgesinde yapılan projelerde soğutma sistemleri ya düşük kapasiteli tercih edilir ya da projede hiç tercih edilmez. İkinci dikkat edilmesi gereken öncelikli konu ise bina tipidir. Eğer bina hastane ise hijyenik sistemler seçilmelidir. %100 taze havalı olarak binaya şartlandırılmış hava verilmelidir. Ancak bina bir iş yeri ise hijyenik sistem seçilmesine gerek yoktur.

2.2 İklimlendirme Otomasyonu

İklimlendirme otomasyonu binalardaki ortamları, insanlar için uygun konfor seviyesine getirmeyi amaçlamaktadır. Aynı zamanda bu amaç doğrultusunda enerji verimliliği de sağlanmaktadır. Enerji verimliliğini sistemler üzerindeki oransal kontrolü ve istenen koşullara ulaşınca sistemleri boş yere çalıştırmayarak sağlamaktadır. Binadaki bir bölgeyi ısıtmak için kullanılan klima santraline, kazandan gelen sıcak su miktarı santralin ısıtma serpantinin girişindeki oransal motorlu vana ile kontrol edilir. Şekil 2.5'te görülen klima santrali, sistem üzerinden kontrolden sorumlu olan kullanıcının istenilen ortam sıcaklığını

arttırmak için değer girmesi üzerine bu sıcaklığı yakalamak için ısıtma oransal motorlu vanasını açar. İstenen sıcaklığa ulaşıldığında ise ısıtma oransal motorlu vanasını kapamaya başlar. Böylece gereksiz su ve enerji sarfiyatı yapılmamış olur. Bu şekilde bir otomasyon olmaması durumu, her sistem başına bir kullanıcının bu süreçleri takip etmesi gerektirecek olup, enerji sarfiyatlarına sebep olacaktır. İklimlendirme otomasyonu sayesinde bunların önüne geçilmektedir.



Şekil 2.5 Klima santralinin otomasyon üzerinden izlenmesi

Ayrıca iklimlendirme otomasyonu ile ortamlarda hava kalite bilgisi izlenerek, ortamın taze hava ihtiyacı doğru oranda verilebilir. Özellikle Covid-19 döneminde bu tarz uygulamalar önem arz etmektedir. Havalandırma cihazlarında özel filtre kullanımı ile çoğu parçacığın geçişi engellenebilmektedir. İklimlendirme otomasyonu sağlık alanında ameliyatlarda da kullanılmaktadır. Ameliyathaneye koridordan gelen havanın kapıdan girmesini istemeyen hekim, ameliyathanede pozitif basınç istediğini sisteme girerek ameliyathaneye verilen hava miktarı arttırılarak kapıya doğru basınç oluşturulur. Böylece koridordan ameliyathaneye hava girişi engellemiş olur. Bazı ameliyat tiplerinde tam tersi olarak negatif basınç ihtiyacı da olabilir. Genellikle negatif basınç, odadan dışarıya mikrop yayılmaması için izolasyon odalarında istenmektedir. Negatif basınç ile odadaki hava içeride tutulmuş olur.

3
SİSTEM TANIMI

Bu bölümde, hibrit güç sistemi ele alınmıştır. Öncelikle hibrit güç sistemlerinin tanımı yapılmış olup, bu tezde kullanılan hibrit güç sisteminin detayı verilmiştir. Bu tezde kullanılan alternatif enerji kaynakları olan RT, GP ve Bat bileşenleri hibrit güç sistemini oluşturmaktadır. Bölümün ilerleyen kısmında bu bileşenlerin optimizasyon eğilimli modelleri verilmiştir. Modeller detaylı bir biçimde incelenmiş ve yorumlanmıştır.

3.1 Hibrit Güç Sistemi

Bu tezde binalardaki iklimlendirme sistemlerinin yük talebini karşılamak için RT/GP/Bat hibrit güç sistemi önerilmiştir. Şekil 3.1'de yapılmış olan resimleme hibrit güç sistemlerini göstermektedir. Çevresel duyarlılığın artması ile birlikte hibrit güç sistem çalışmalarının sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Fosil yakıtlarının kullanılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit ile atmosferdeki sera gazının oranı artmaktadır. Bu da iklim değişikliğini tetikleyip, dünyada kuraklıklara, kıtlıklara ve doğal afetlere sebebiyet vermektedir. Bu bağlamda Avrupa Birliği ise bahsi geçen felaketlerin önlenmesi adına fosil yakıtların kullanımı azaltacak ve çevre dostu alternatif enerji kaynaklarının kullanımını teşvik edecek planlarını bir rapor haline getirmiştir [37]. Rapor incelendiğine "9 adet Avrupa Birliği üyesi ülkenin elektrik üretiminde kömür kullanımı tamamen kaldırdığı, 13 adet üye ülke için de yürürlükten kalkacağı tarihin paylaşıldığı görülmektedir". Raporda "2050 yılına kadar iklim değişikliğinin yıkıcı etkisinin sıfırlanması hedeflenmektedir". Ayrıca raporda çeşitli alternatif enerji kaynaklarından nasıl yararlanacağı ile ilgili stratejiler paylaşılmış olup, bunlar arasında bu tezde de önemli bir role sahip rüzgar enerjisinin de olduğu görülmüştür [37].



Şekil 3.1 Hibrit güç sistemleri

Hibrit güç sistemini oluşturan RT, GP ve Bat'ın optimizasyon eğilim modelleri detaylı olarak bu tezde değinilmiştir. Rüzgar verisinden anlık olarak güç üretimine nasıl geçileceği gösterilmiştir. Ayrıca GP için de ışınım verisinden anlık olarak güç üretimine nasıl geçileceği denklemleriyle beraber gösterilmiştir. Aynı zamanda bu güç sistemini oluşturan parçalar için kapasite kısıtları, verim kısıtları gibi konular da göz önünde bulundurulmuştur. Bilindiği üzere yenilenebilir enerji kaynakları yapısı gereği hava olaylarına bağlı olarak sürekli güç sağlayamazlar. Rüzgarsız bir günde RT'den düşük kapasitede bir güç elde edileceği bilinmektedir. GP için buna benzer bir örnek de bulutlu havalarda daha düşük kapasitede güç üretilmesi olacaktır. GP için diğer bir konu da akşamları güneş battıktan sonra güç üretilememesidir. Bu tür hava olaylarından veya bahsedilen durumdan dolayı kesintili çalışabilecek yenilenebilir enerji kaynaklarını desteklemek için şebekeden güç çekilmesi de çalışmaya eklenmiştir. Şekil 3.2'de görüleceği üzere güneş batmakta veya doğmakta iken GP'den çekilen gücün azalması durumunda oluşabilecek talebin karşılanamaması durumunda şebekeden güç çekilebilmektedir. Ayrıca hibrit güç sistemine eklenen batarya ile RT veya GP'nin talepten fazla güç üretmeleri durumunda enerjiyi depolayarak, RT veya GP'nin kesintili çalıştığı dönemde oluşacak talebe cevap vermesi düşünülmüştür.



Şekil 3.2 Elektrik dağıtım şebekeleri

Tüm bahsedilen çalışmalar optimal hedefler doğrultusunda, iklimlendirme cihazlarından doğan yüklere karşılık talep cevabı uygulaması olarak gösterilmiştir.

3.2 Hibrit Güç Sisteminin Optimizasyon Eğilimli Modellenmesi

Hibrit güç sisteminin optimizasyon eğilimli modellemesinde kullanılan rüzgar ve güneş enerjileri, iklimlendirme yüklerini maksimum seviyede karşılayacak şekilde ayarlanmıştır. Buradan hareketle RT ve GP birimlerinin optimizasyon eğilimli modelleri sunulmuştur. Hibrit güç sisteminde bulunan batarya ise, RT veya GP'nin ihtiyaçtan fazla enerji ürettiği durumlarda kendine enerji depolayacak, ihtiyaç durumunda da depolanan enerjiyi verecektir. Bat birimi bu şekilde hibrit güç sistemine dahil edilmiş olup, optimizasyon eğilimli Bat modeli de gösterilmiştir.

Bu çalışmada, hibrit güç sisteminin optimizasyon eğilimli modellemesi hastane, okul ve bunun gibi kamu binalarında bulunan iklimlendirme sistemlerine yönelik kullanılabilmesine uygun olarak yapılmıştır. Resmi gazetede Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından oluşturulan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği'nde görüleceği üzere sağlık tesisleri, alışveriş merkezlerinden sonra en çok enerji tüketen bina tipidir [3]. Bu tarz kamu kuruluşları çok fazla sayıda insan ağırladığı için güç tüketimi fazla olmaktadır. Ayrıca çok sayıda insan ağırlanabilmesi, iklimlendirilmesi gereken geniş alanların olduğu anlamına gelmektedir. Geniş

alanların havalandırmasının ve ısıtma-soğutmasının yapılabilmesi için yüksek kapasiteli iklimlendirme cihazları gereklidir. Bu nedenlerden dolayı bu tarz kamu kuruluşlarının iklimlendirme yüklerinin de yüksek seviyede olacağı anlaşılmaktadır.

Bahsedilen yüksek enerji ihtiyacını karşılamak için sadece alternatif kaynakların kullanılması risk teşkil etmektedir. Herhangi bir hava muhalefetinden doğabilecek enerji kesilmesi durumu bu riski oluşturmaktadır. Bunun engellenmesi adına hava muhalefeti durumunda iklimlendirme yüklerinin karşılanması için şebeke gücünün de model içine dahil edilmesi gerçekleştirilmiştir. Şebeke gücünün sadece alternatif enerji kaynağı eksikliğinden kullanımı optimizasyon probleminde amaç olarak belirlenmiştir.

Seçilen hibrit güç sisteminin nominal değerlerine göre cihaz seçimi yapılması durumunda, iklimlendirme cihazları için daha düşük güç talep cevabı oluşturan son kullanıcı profillerine göre güncellenmesi mümkündür. Bir başka deyişle bu çalışmadaki sistemin, diğer çalışmalardaki sistemlere göre uyarlanması mümkündür.

3.2.1 Rüzgar Türbini Modeli

Rüzgar enerjisinin, güneş enerjisine göre en önemli artısı rüzgardan gece vakitlerinde de yararlanabilmektir. Güneş enerjisinden ise gece vakitlerinde yararlanılamamaktadır. Bir başka deyişle güneşin olmadığı saatlerde GP'den faydalanılamaz. Bu sebeple rüzgar enerjisi hibrit güç sistemlerinde önemli bir yere sahiptir. Ayrıca dünyada da rüzgar enerjisine ilgi artmaktadır. Şekil 3.3'te görülen rüzgar çiftliği adı verilen çok sayıda RT'nin bir arada bulunduğu alanlar ile bölgesel olarak meskenlerin enerji ihtiyacının, rüzgar enerjisinden karşılanması dünyada sayısı artmakta olan projelerdendir.



Şekil 3.3 Rüzgar çiftliği ile evlerin enerji ihtiyacının giderilmesi

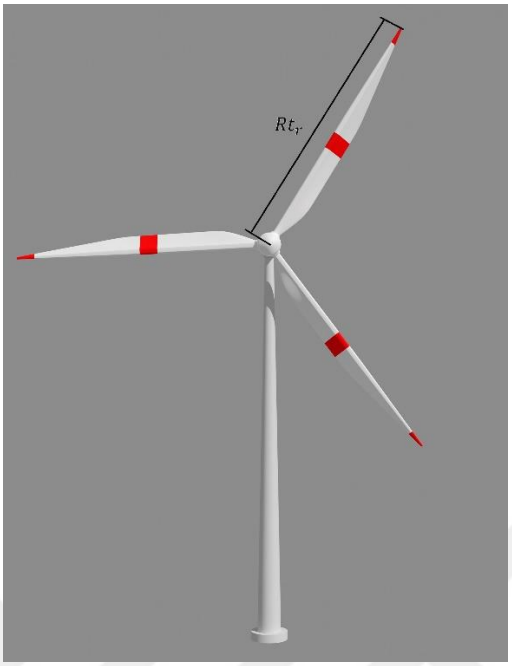
RT'lerden enerji üretimi gerçekleşebilmesi için rüzgarın rotor kanatlarını döndürecek kadar kuvvette esmesi ile bir dönme enerjisi ortaya çıkmaktadır. Bir başka deyişle rüzgarın kinetik enerjisi kanatlar ile mekanik enerjiye çevrilmiş olur. Bu dönme hareketi ile jeneratöre giden şaft döndürülür. "Jeneratör bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirmiş olur" [38].

Rüzgar hızı bilgisinden üretilebilecek elektrik değerini bulabilmek için (3.1) denklemi kullanılmaktadır [38]. Bu denklem sayesinde RT'ler inşa edilmeden daha proje aşamasında RT için en uygun konum bulunabilmektedir. (3.1) denkleminde $P_R(t)$ anlık RT güç üretimini, Rt_r rotor yarıçapını, $H_r(t)$ anlık rüzgar hızını, ρ hava yoğunluğunu ve τ_r ise türbinin verimliliğini ifade etmektedir.

$$P_R(t) = \frac{\pi}{2} \times {Rt_r}^2 \times {H_r}^3(t) \times \rho \times \tau_r \qquad (3.1)$$

Denklem incelendiğinde Rt_r arttırılması yani Şekil 3.4'te görülen rotor yarıçapının uzatılması ile üretilebilecek gücün de artacağı anlaşılmaktadır. Ancak rotor yarıçapının artması RT'nin kapladığı alanın da artacağı anlamına gelmektedir. Buradan daha büyük RT'lerin küçük alanlarda kullanılamayacağı görülmektedir. Denkleme bakıldığında sadece rotor yarıçapının arttırılması ile gücün arttırılması yerine verimliliğin geliştirilmesi ile üretilen güçte artış sağlanabileceği anlaşılmaktadır. RT'lerdeki verimlilik teknoloji ilerledikçe artmaya devam etmektedir. "RT'lerdeki verimlilik, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren milin verimliliğine, RT kanatlarının tasarımı ve RT'nin kararlılığına bağlıdır" [38].

Daha verimli bir RT sistemi ile aynı boyutlardaki RT'lere göre daha fazla güç üretilebilir.



Şekil 3.4 RT'nin rotor yarıçapı gösterimi

Rüzgar hızı verisi, ölçümün yapıldığı yüksekliğe göre değişmektedir. Atmosferik olarak yükseklik arttıkça rüzgar hızı da artmaktadır. RT'nin üreteceği gücün bulunması için $H_r(t)$ verisi bilinmelidir. Rüzgar hızının takip edilip ölçüldüğü yükseklik ile RT'nin çalıştığı yükseklik arasında fark var ise çalışma alanındaki rüzgarın hızı bulunmalıdır. Belirli yükseklikteki bilinen rüzgar hızından yola çıkarak, bilinmeyen rüzgar hızına sahip belirli yüksekliklerdeki rüzgar hızını bulmak için geliştirilmiş bir denklem literatürde yer almaktadır [39]. Tizgui ve arkadaşları bu denkleme ulaşmak için ekstrapolasyon metodunu kullanmışlardır [39]. Bunun için "bilinen rüzgar hızı ve bilinen yüksekliğe logaritmik doğrusal fonksiyon yasası, logaritmik ve güç yasalarının uygulanması" ile diğer yüksekliklerdeki rüzgar hızının tahmin edilmesini mümkün kılmışlardır [39]. (3.2) denkleminde Y_1 rüzgar hızı ölçümün yapıldığı yüksekliği ve $H_{r,1}$ ölçümün yapıldığı yükseklikteki rüzgar hızını temsil etmektedir. Y_2 ise RT'nin çalışma yüksekliğini ve $H_{r,2}$ ise RT'nin bulunduğu çalışma yüksekliğindeki rüzgar hızını ifade eder. Bu denklemde bulunması hedeflenen $H_{r,2}$ değeridir. α değeri ise güç üssü veya Hellmann üssü olarak bilinmektedir. Güç üssü, rüzgar hızı, arazi

şartlarına (çevredeki binalar, yapılar) ve atmosferik istikrara göre değişmektedir [39].

$$\left(\frac{H_{r,2}}{H_{r,1}}\right) = \left(\frac{Y_2}{Y_1}\right)^{\alpha} \tag{3.2}$$

Güç üssü (α) değerinin hesaplanması için (3.3) denklemi kullanılmaktadır.

$$\alpha = \frac{0.37 - 0.0881 \ln\left(H_{r,1}\right)}{1 - 0.0881 \ln\left(\frac{Y_1}{10}\right)} \tag{3.3}$$

Optimizasyon problemini oluşturmak için ek kısıtların belirlenmesi gereklidir. Bunlar (3.4) ve (3.5) kısıtlarıdır. Üretilen RT gücü $P_{R,Ur}(t)$ ve nominal RT gücü ise R_{nom} ile gösterilmektedir. (3.4) kısıdında $P_R(t)$ değerinin $P_{R,Ur}(t)$ değerinden küçük veya eşit olabileceğini belirtmektedir. $P_{R,Ur}(t)$ ise $P_R(t)$ değerinden büyük veya eşit, R_{nom} değerinden ise küçük veya eşit olabilir. Bu şekilde RT yararlanım durumu ortaya konmaktadır. Optimizasyon probleminde amaç olarak üretilen güç miktarı belirlenmiştir. $P_R(t)$ değeri anlık üretilen gücü temsil etmesine rağmen, (3.5) denkleminde verilen güç hesabı ile gerçekte üretilen güç hesabına ulaşılır. (3.5) denkleminde $P_{R,Gr}(t)$ değeri gerçek RT elektriksel gücü ve $\tau_{r,Kon}$ ise enerji dönüşümlerinin gerçekleştiği dönüştürücü (konverter) birimlerinin ortalama verimini belirtmektedir.

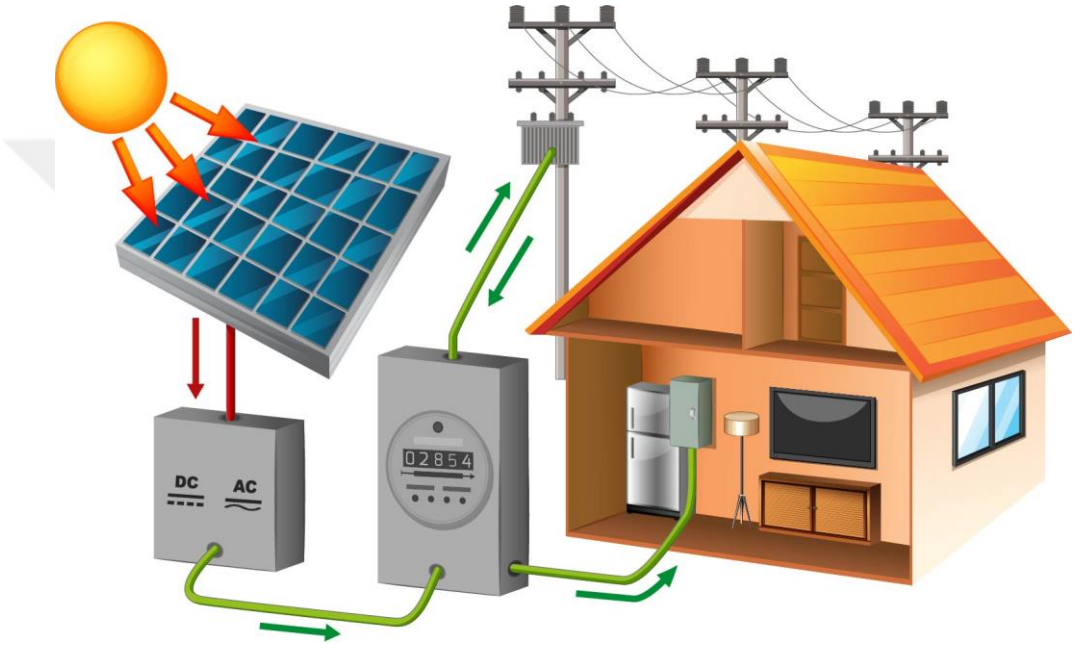
$$P_R(t) \leq P_{R,Ur}(t) \leq R_{nom}\,, \forall t \geq 0 \tag{3.4}$$

$$P_{R,Gr}(t) = P_R(t) \times \tau_{r,Kon}\,, \forall t \geq 0 \tag{3.5}$$

3.2.2 Güneş Pili Modeli

Güneş enerjisi de rüzgar gibi çevre dostu enerji kaynaklarındandır. Güneş enerjisinden elektriksel güç elde edilmesindeki verim teknolojinin gelişmesi ile artmaktadır. Ayrıca kurulum maliyetleri de azalmaktadır. Bu nedenlerle güneş enerjisi, tercih edilen bir alternatif enerji kaynağı haline gelip çoğu binada yer almaya başlamıştır. Son kullanıcılar güneş enerjisinden elde ettikleri ihtiyaç fazlası

elektriği sayaç yardımıyla ölçerek şebekeye de satabilirler (Şekil 3.5). Ayrıca güneş enerjisi çiftliklerinin de sayısı artmaktadır. “Güneş enerjisini elektrik akımına dönüştürme yöntemi fotovoltaik olarak adlandırılır” [40]. Bunu gerçekleştirmek için üzerine düşen güneş enerjisini soğuran fotovoltaik paneller kullanılır. Üzerine düşen güneş enerjisini doğru akıma çevirebilen güneş pilleri fotovoltaik cihazlardır. Ancak üretilen doğru akımın alternatif akıma çevrilmesine ihtiyaç vardır. Bunun için de doğru akımdan alternatif akıma çevirme işlemi için dönüştürücü (konverter) kullanılır [40].



Şekil 3.5 Güneş enerjisi kullanan ve ihtiyaç fazlası elektriği satabilen ev

GP’den üretilebilecek elektriksel gücü bulmak için denklem (3.6) kullanılmaktadır [41,42]. $P_{Gp}(t)$ değeri GP panelinin anlık elektriksel güç üretimini, $GP_A(t)$ değeri GP panelinin toplam alanını, $G_I(t)$ ışınım değerini ve V_{GP} ise GP panel verimini temsil etmektedir.

$$P_{Gp}(t) = GP_A(t) \times G_I(t) \times V_{GP} \tag{3.6}$$

Denklem (3.6) kullanılabilmesi için GP panelin olduğu bölgedeki ışınım verisi bilinmelidir. Bu ışınım verisinin nasıl elde edileceği ile ilgili detaya Bölüm 5’te değinilmiştir. Denklem (3.6) incelendiğinde $P_{Gp}(t)$ değerinin artması için $GP_A(t), G_I(t)$ ve V_{GP} değerlerinin artması gerekli olduğu anlaşılmaktadır. Sırasıyla bu değerlere bakıldığında $GP_A(t)$ yani GP panelinin toplam alanı proje

kapsamında bölgenin uygunluğuna göre genişletilerek $P_{Gp}(t)$ değeri arttırılabilir. Ancak alandan en efektif olarak yararlanmak için GP panellerinin açısı da önemlidir. Yerleştirildikleri açıya göre bir GP panelinin kaplayacağı alan artabilir veya azabilir. Açıyla beraber GP paneli yatay konuma yakınlaşması kapladığı alanın artması demektir. Bu da proje bölgesine konulabilecek diğer panellerin sayısının azalması anlamına gelir. GP panel açısının hem alan olarak hem aldığı ışınım miktarı olarak optimum oranda ayarlanması gereklidir [41]. Işınım verisi $(G_I(t))$ ise tamamen GP panellerinin yerleştirildiği bölgeye bağlı olmakla beraber değişmektedir. Gün ışığından daha fazla yararlanabilen bölgelere bu GP panellerinin konulması $P_{Gp}(t)$ değerinin diğer gün ışığından daha az yararlanabilen bölgelere göre daha fazla olmasını sağlayacaktır. Son olarak V_{GP} yani GP panelinin verimine bakıldığında verimin bu teknolojinin ilk kullanıldığı yıllardan bu yana geliştiği bilinmektedir. Bunun başlıca sebeplerinden biri GP'lerde kullanılan materyallerin yıllara göre değişimidir. Verimliliğin artması için güneş ışığının da panele dik bir şekilde gelmesi gereklidir. Bu da panelin bulunduğu konuma göre açısının ayarlanması anlamına gelmektedir. Bunla ilgili çoğu panel sabit açılı iken bazı paneller için hareketli, güneşi takip edip açısını değiştiren paneller ile verimliliğin arttırılması hedeflenmektedir [43]. Bir diğer verimliliği etkileyen unsur da ortam sıcaklığıdır. Ortam sıcaklığına bağlı olarak panellerin ısınması ile GP'lerdeki verim düşmektedir [44]. Bu nedenle üretilen elektrik miktarı da azalmaktadır. Sıcaklık yüzünden verimin düşmesini engellemek adına soğutma yöntemleri kullanılmaktadır [45]. Bu soğutma yöntemleri aktif ve pasif olarak ikiye ayrılmaktadır. Aktif yöntemler motorlu veya fanlı sistemlerle GP'yi soğutmaya yöneliktir. "Ancak bu şekilde harici bir enerji harcanmış olur" [45]. Bu enerji ihtiyacının şebekeden mi yoksa alternatif enerji kaynaklarından mı karşılanacağı ve bu yöntemin eksilerin ve artılarının son kullanıcı tarafında değerlendirilmesi gereklidir. Soğutmanın gerçekleşmesi ile GP'deki verimin gelişmesi ile elektrik gücünde artış sağlanır [45]. Araştırmacılar bu bahsedilen konular üzerinde çalışmaktadır. Bu çalışmalar ile güneş enerjisinin verimliliği artmakta ve giderek kurulum maliyetleri azalmaktadır.

Bu çalışmada, optimizasyon probleminin oluşturulması için kısıt olarak (3.7) verilmiştir. Kısıt (3.7) incelendiğinde anlık GP gücünün, GP panelde üretilen

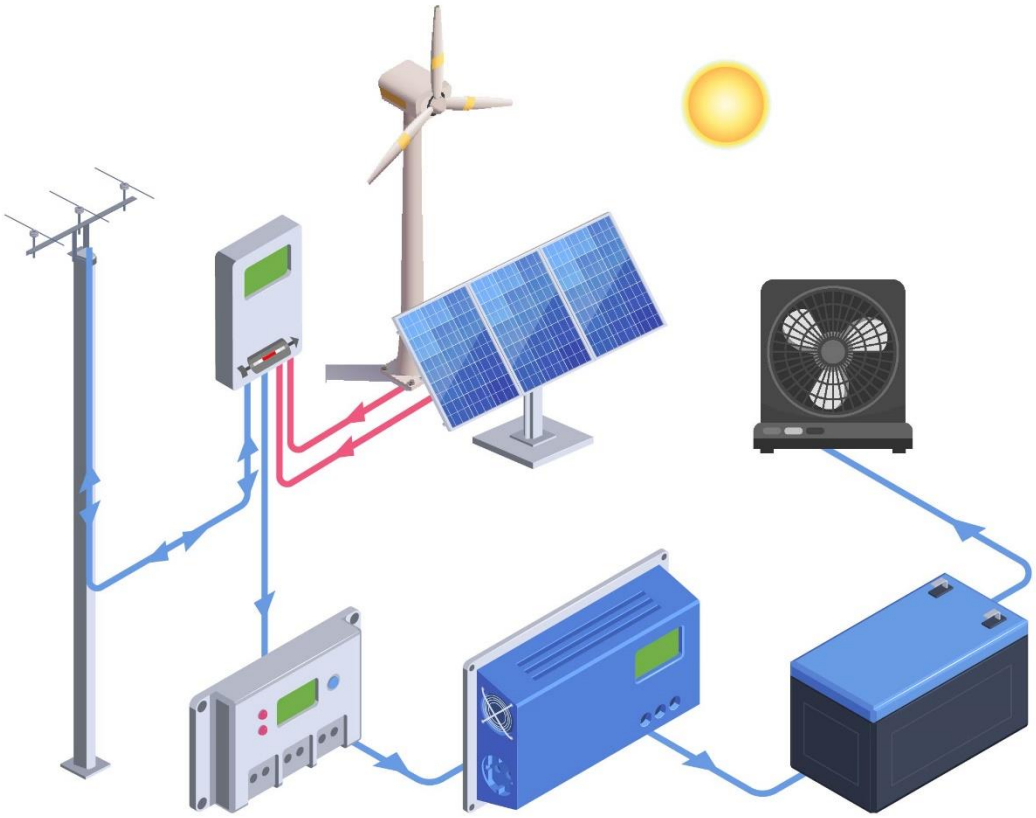
güçten ($P_{GP,Ur}(t)$) küçük veya eşit olacağı görülmektedir. Aynı zamanda $P_{GP,Ur}(t)$ değerinin de GP panelde üretilen nominal GP gücünden (GP_{nom}) küçük veya eşit olması gerekmektedir. Bunun sebebi güneş enerjisinden yararlanıldığını belirtmektir. Son olarak kısıt (3.8)'de GP güç ünitesinin bağlı olduğu güç dönüştürücü ünitesinin verimi de ($\tau_{GP,Kon}$) hesaplamaya eklendiği zaman gerçek elektriksel PV gücü ($P_{Gp,Gr}(t)$) bulunabilmektedir. (3.8) incelendiğinde gerçek PV gücü, anlık güçten küçük veya eşit olacağı görülmektedir.

$$P_{Gp}(t) \leq P_{GP,Ur}(t) \leq GP_{nom}\,, \forall t \geq 0 \tag{3.7}$$

$$P_{Gp,Gr}(t) \leq P_{GP}(t) \times \tau_{GP,Kon}\,, \forall t \geq 0 \tag{3.8}$$

3.2.3 Batarya Modeli

Hibrit güç sisteminde yer alan diğer parça da bataryadır. Batarya da RT ve GP gibi iklimlendirme yüklerinin karşılanmasında kullanılacaktır. Şekil 3.6'da buna benzer bir hibrit sistem görülebilir. Bataryanın şarj olma durumu, RT ve GP'de üretilen enerjinin talebe yetip, artması durumunda gerçekleşecektir. Böylece enerji kaybı yaşanmadan, enerjinin depolanması mümkün olacaktır. Bu depolanan enerji de RT ve GP'nin enerjisinin yetersiz kaldığı durumlarda iklimlendirme yüklerini karşılamak için devreye girecektir.



Şekil 3.6 Örnek bir hibrit güç sisteminde bataryanın kullanımı

Bataryada enerji depolanmasına şarj, bataryadan dışarıya enerjinin verilmesine deşarj denir. Bataryanın optimizasyon eğilimli modellemesi için enerji durumu eşitliği, şarj ve deşarj koşullarının belirlenmesi gereklidir. Öncelikli olarak bataryada depolanan enerjinin anlık durumu BED olarak ifade edilmektedir. Zaman aralıklarına göre bataryadaki anlık enerji miktarı ise $E_{BED}(t)$ ile ifade edilmiş olup, eşitliği için (3.9) kullanılmaktadır [8].

$$E_{BED}(t) = E_{BED}(t-1) + \frac{P_{Bat,S}(t) \times Vr_{S,Bat}}{\Delta} - \frac{P_{Bat,D}(t) \times Vr_{D,Bat}}{\Delta} \qquad (3.9)$$

Her bir zaman aralığında $E_{BED}(t)$ değerinin hesaplanması iteratif olarak (3.9) ile yapılır. (3.9) eşitliğinde bataryanın bir önceki zaman aralığındaki enerji durumunu $E_{BED}(t-1)$, anlık batarya şarj gücünü $P_{Bat,S}(t)$ ve anlık batarya deşarj gücü ise $P_{Bat,D}(t)$ ile ifade edilmektedir. Bataryanın şarj verimi $Vr_{S,Bat}$, deşarj verimi ise $Vr_{D,Bat}$ ile temsil edilir. Δ parametresi, elektrik gücü ile elektrik enerjisi arasındaki dönüşümü sağlar ve bir saat ölçüsüne göre ölçülen zaman aralığının

yinelenme değerine eşittir. $E_{BED}(t)$ için yapılacak tasarıma göre belli kısıtlara tabi olmaktadır. Bu kısıtlar (3.10-3.12) eşitlik veya eşitsizlikleri ile verilmiştir. Başlangıç durumundaki bataryanın enerji durumu $E_{BED,b}$ (3.10) eşitliğinde gösterilmektedir. (3.11) kısıdında ise bataryanın anlık enerji durumunun yani $E_{BED}(t)$ değerinin, bataryanın alabileceği maksimum enerji değeri ($E_{BED,mak}$) bir başka deyişle sığasından küçük veya eşit olacağı belirtilmektedir. $E_{BED}(t)$ değerinin $E_{BED,min}$ ile ifade edilen bataryanın alabileceği minimum enerji değerinden ise büyük veya eşit olacağı gösterilmektedir. Bataryanın optimizasyon eğilimli modellemesi yapılırken bu kısıtlara dikkat edilmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere (3.9) eşitliği ile bataryanın enerji durumu hesaplanırken (3.10-3.12) kısıtları ile ele alınmalıdır.

$$E_{BED}(t) = E_{BED,b}\,, t = 1 \tag{3.10}$$

$$E_{BED}(t) \leq E_{BED,mak} \tag{3.11}$$

$$E_{BED}(t) \geq E_{BED,min} \tag{3.12}$$

(3.9) eşitliği incelendiğinde fark edileceği gibi $P_{Bat,S}(t)$ ve $P_{Bat,D}(t)$ değerleri zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu değişimler için de kısıtların tanımlanması gereklidir. Bu kısıtlar (3.13) ve (3.14) gösterilmiştir. (3.13) kısıdında bataryanın şarj gücü, $K_{S,Bat}$ parametresi ile kısıtlanmaktadır. Aynı şekilde bataryanın deşarj gücünü ise (3.14) kısıdında $K_{D,Bat}$ ile limitlemektedir. Sistem ihtiyaçlarına göre kullanılan bataryanın kapasitesine göre bu parametreler değişmektedir. $P_{Bat,nom}$ değeri ise bataryanın nominal güç değeridir. (3.15) kısıdında bataryanın deşarj gücünün, bataryanın nominal gücüne göre küçük veya eşit olacağı belirtilmektedir. (3.16) kısıdında ise bataryanın şarj gücünün, bataryanın nominal gücüne göre küçük veya eşit olacağı gösterilmektedir.

$$P_{Bat,S}(t) \leq K_{S,Bat} \times P_{Bat,nom} \tag{3.13}$$

$$P_{Bat,D}(t) \leq K_{D,Bat} \times P_{Bat,nom} \tag{3.14}$$

$$P_{Bat,D}(t) \leq P_{Bat,nom} \tag{3.15}$$

$$P_{Bat,S}(t) \leq P_{Bat,nom} \tag{3.16}$$

Bataryanın optimizasyon eğilimli modellemesi sırasında yapılması gereken son kısıtlamalar ise bataryanın çalışma şekli içindir. Bataryanın aynı anda hem şarj hem de deşarj olmaması gerekir. Bunun olmasını engellemek adına (3.17) ve (3.18) kısıtları belirlenmiştir. (3.17) ve (3.18) kısıtlarında geçen b_{Bat} ikili değişken tipine haiz olup, 0 veya 1 değeri alabilmektedir. Denklemler incelendiğinde bir denklemde b_{Bat} değerinin 0 olması durumunda bulunduğu denklem karşılığındaki şarj veya deşarj gücü sıfır olacaktır. Diğer denklemde ise b_{Bat} değerinin 1 olması durumunda bulunduğu denklemdeki şarj veya deşarj gücü sıfırdan farklı bir değer olacaktır. Bu ise denklemde verilen büyük bir tam sayı olarak geçen K değeri ile garanti altına alınmaktadır. Böylece batarya aynı anda sadece bir işlemi gerçekleştirebilecektir. Bataryanın optimizasyon eğilimli modellemesi bu kısıtlar ile son bulmaktadır.

$$P_{Bat,S}(t) \leq K \times b_{Bat} \tag{3.17}$$

$$P_{Bat,D}(t) \leq K \times (1 - b_{Bat}) \tag{3.18}$$

3.3 Güç Sistemi Yük Paylaşımları

Bu başlıkta, Hibrit güç sistemindeki RT, GP ve Bat'ın optimizasyon temelli modellerinden sonra bu kaynakların güç dağılımında nasıl bir rol aldıklarına değinilmiştir. Bu tezdeki problem, binalardaki iklimlendirme yüklerinin öncelikle alternatif enerji kaynaklarıyla karşılanmasıdır. Alternatif enerji kaynaklarının doğası gereği hava olaylarından etkilenmeleri durumunda ise şebekenin kullanımı da probleme dahildir. Bu problemin çözümü için alternatif enerji kaynakları incelenmiştir. Alternatif enerji kaynaklarından olan RT'nin ürettiği gücün

tamamının iklimlendirme yüklerinin karşılanmasında kullanılması hedeflenmiştir. Verimli rüzgar alan bölgelerde ve talebe göre uygun seçilecek tipteki bir RT ile iklimlendirme yüklerinin tamamının karşılanması mümkün olabilir. RT için kurulacak alanın uygunluğu da önemlidir. İklimlendirme yükü talebini karşılayabilmek için eğer alan uygun değilse çok büyük tipteki RT'ler seçilemez. Ayrıca RT'den üretilen gücün iklimlendirme yüklerinden fazla olması durumu için de planlama yapılmıştır. Bu artan güç, binadaki iklimlendirme cihazları dışındaki yükler için kullanılacaktır. Buradan hareketle RT gücünün ikiye ayrılacağı görülmektedir. Bu nedenle de bunla ilgili bir eşitlik verilmesi gereklidir. Bu eşitlik de (3.19) ile gösterilmiştir. (3.19) eşitliği incelendiğinde gerçek RT elektriksel gücü değerinin ($P_{R,Gr}(t)$), iklimlendirmeye harcanan RT gücü ($P_{R,İY}(t)$) ile iklimlendirme yüklerinin RT tarafından karşılanması sonrası kalan gücün ($P_{R,DY}(t)$) toplamı olduğu görülmektedir.

$$P_{R,Gr}(t) = P_{R,İY}(t) + P_{R,DY}(t) \tag{3.19}$$

Hibrit güç sisteminde kullanılacak kaynakların, iklimlendirme yük talebine uygun olarak güç üretmesi gereklidir. Eğer iklimlendirme yük talebi karşılanabiliyorsa, bu talebi aşmamaları gerekir. Talebi aşıp, olmayan bir yük ihtiyacı için iklimlendirme cihazlarını beslememeleri gerekmektedir. Bunun için aşağıda ek kısıtlar tanımlanmıştır. (3.20) kısıdında $P_{R,İY}(t)$ değerinin, iklimlendirme talep gücüne ($P_{İY}(t)$) küçük veya eşit olacağı belirtilmiştir. Bunu belirterek, RT'nin iklimlendirmeye harcanacak gücü en fazla iklimlendirme cihazlarının oluşturduğu talep kadar olacaktır. Fazladan üretilen RT gücü ise diğer alanlarda kullanılabilecektir. (3.21) ve (3.22) kısıtları ise batarya için eklenmiştir. (3.21) kısıdında bataryanın deşarj gücünün ($P_{Bat,D}(t)$), $P_{İY}(t)$ değerinden küçük veya eşit olacağı belirtilmiştir. Bu kısıt incelendiğine, bataryanın sadece iklimlendirme yük talebi için deşarj olacağını gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu demektir ki, batarya başka cihazların yük talebi için kullanılmayacaktır. (3.22) kısıdında ise $P_{Bat,S}(t)$ değerinin $P_{R,DY}(t)$ değerinden küçük veya eşit olacağı ifade edilmiştir. Bataryanın şarj olurken alacağı güç, RT'nin iklimlendirme yüklerini karşıladıktan sonra kalan gücünden karşılanacağını göstermektedir. Bir başka deyişle batarya şebekeden

şarj olmayacaktır. RT'nin tercih edilme sebebi ise bu tezde bulunan hibrit güç sistemindeki en büyük nominal güce sahip alternatif kaynak olmasıdır.

$$P_{R,İY}(t) \leq P_{İY}(t) \tag{3.20}$$

$$P_{Bat,D}(t) \leq P_{İY}(t) \tag{3.21}$$

$$P_{Bat,S}(t) \leq P_{R,DY}(t) \tag{3.22}$$

Bu kısımda son olarak güç dengesini gösteren denklem olarak (3.23) tanımlanmıştır. Bu denklemde iklimlendirme yüklerinden kaynaklı güç arzının nelerden giderileceği gösterilmektedir. Bunun için RT'nin iklimlendirme yüklerini karşılayan güç kısmından, gerçek fotovoltaik güçten, ihtiyaç durumunda şebekeden çekilen güçten ($P_h(t)$) ve son olarak bataryanın deşarj gücünden faydalanıldığı belirtilmiştir. Önceki ifadelerde bahsedildiği gibi RT'nin sadece iklim yüklerini karşılayacak kısmı bu denkleme dahil edilmiştir. RT tarafından üretilen kalan güç ise binadaki diğer yüklerin talebinin karşılanmasında kullanılacaktır. Böylece hibrit güç sistemindeki kaynakların dağılımı gösterilmiştir.

$$P_{İY}(t) = P_{R,İY}(t) + P_{GP,Gr}(t) + P_h(t) + P_{Bat,D}(t) \tag{3.23}$$

4
OPTİMİZASYON ÇALIŞMASI

Bu bölümde, optimizasyon için ön bilgi verilmiş olup, literatürde kullanılan optimizasyon yöntemlerinden bahsedilmiştir. Ayrıca bu tez çalışmasında yer alan optimizasyon problemi için amaç fonksiyonu tanımlanmıştır.

4.1 Optimizasyon Nedir?

"Sistemdeki belirlenmiş kısıtların göz önüne alınarak karar değişkenlerinin amaç fonksiyonunu en iyi hale getirecek şekilde belirlenmesine optimizasyon denir" [46]. Optimizasyondaki amaç fonksiyonuna; bir işin maliyetinin minimuma indirilmesi veya bir işin yapılmasındaki hızın maksimuma çıkarılması gibi örnekler verilebilir. İnsanlar yaşamında nerdeyse her gün Şekil 4.1'deki gibi optimizasyon yapmaktadır. Tabi insanlar bunu yaparken matematiksel olarak optimizasyon yapmadığı için çoğu zaman farkına varmamaktadır. Kişinin bir yere giderken en kısa hangi yoldan gideceğini düşünmesi veya en ucuza nereden içme suyu temin edebileceği gibi amaçlar uğruna düşünüp, bunları optimum şekilde gerçekleştirmesi optimizasyona örnektir. Kişinin içme suyunu elde edilmesi ihtiyacında iki farklı amaç olabilir. Birincisi suyun hızlı elde edilmesi, ikincisi ise suyun ucuz elde edilmesidir. Birinci durumda hızlı bir şekilde suya ulaşılma amacı olduğu için mali kısıtlar daha rahat olacaktır. Birinci durum için zaman adına kısıtlar konulacaktır. Ancak ikinci durumda suya ucuz ulaşmak bir amaç olduğu için mali kısıtlar daha sıkı olacaktır. Zaman kısıtları ise birinci durum gibi sıkı olmayacaktır. Amaç fonksiyonuna göre bu kısıtların değiştiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.1 İnsan yaşamında optimizasyon

Bu bahsedilen problemler matematiksel olarak kağıda döküldüğünde ise ortaya modelleme denen yöntem çıkmaktadır. Modelleme için problemin detaylı bir şekilde analiz edilmesi gereklidir. Sistemdeki her parça için modelleme yapılır. Bu parçalara ait karar değişkenlerinin formülleştirmeleri ile birlikte modellemenin ilk kısmı ortaya çıkmaktadır. Modellemenin tamamlanabilmesi için belirlenen karar değişkenlerinin, belli kısıtlara uyması gereklidir. Bu kısıtlar daha önceden bahsedildiği gibi amaç fonksiyonuna yönelik seçilir. Bu kısıtlar için belirli eşitlikler ve eşitsizlikler formülleştirilir. Belirlenen eşitliklere ve eşitsizliklere uyularak, optimizasyon problemi çözülmektedir. Bu tezde de hibrit güç sistemini oluşturan alternatif enerji kaynaklarının optimizasyon eğilimli modellemesi gösterilmiştir. Optimizasyon temelli modellemeler sırasında kısıtlar belirlenmiştir.

Optimizasyon problemleri çeşitli kıstaslara göre tiplere ayrılabilir. Bu tezdeki gibi zamana bağlı karar değişkenlerin bulunduğu optimizasyon problemlerine dinamik optimizasyon problemi denir. Tam tersi olarak da karar değişkenlerinin sabit olduğu çalışmaları ise statik optimizasyon problemi olarak adlandırılmaktadır [47].

4.1.1 Lineer Optimizasyon

Optimizasyon problemleri içerdikleri denklemlere göre lineer veya lineer olmayan tipte olabilirler. Lineer programlama modellerinde karar değişkenleri devamlıdır. Bu karar değişkenleri, kısıtlar ve amaç fonksiyonu ile birlikle doğrusal bir ilişki içindedirler. Karar değişkenlerinin göstereceği artış veya azalış doğrusaldır. Doğrusal yapıdaki problemlerin çözümü için lineer programlama yöntemi ile çözüm yapılması mümkündür. Doğrusal olmamaları durumunda bu problem tipi lineer programlama ile çözülemez [47]. "Lineer programlama çözümünün yöntemi için ilk örnek yöneylem çalışmalarında da katkısı bulunmuş olan Amerikalı matematikçi Dantzig sayesinde ortaya çıkmıştır" [47]. Halen de bu programlama yöntemi kullanılmaya devam etmektedir.

Bu tezde de lineer programlama yöntemi ile amaç fonksiyonunun minimuma getirilmesi hedeflenmiştir.

4.2 Sisteme Ait Optimizasyon Probleminin Tanımlanması

Her optimizasyon çalışmasında bir amaç olması gereklidir. Bu çalışmada amaç olarak toplam maliyet (TM) fonksiyonunun (4.1) en aza indirgenmesi belirlenmiştir. Bir diğer deyişle TM fonksiyonunun sıfır veya sıfıra yakın olması istenmektedir. Bunun için de fonksiyon içindeki ifadelerin toplamlarının sıfıra yakın olması gerekmektedir. (4.1) incelenecek olursa; ilk toplam işleminde $P_{R,Ur}(t)$ değerinden $P_R(t)$ değerinin çıkarıldığı görülmektedir. Bu demektir ki, anlık RT gücünün, üretilebilecek RT gücüne yakın olması istenir. Böylece bu toplam sıfır veya sıfıra yakın sonuç verebilir. İkinci toplam işleminin içeriğinde ise $P_{R,İY}(t)$ değerinin $P_{İY}(t)$ değerinden çıkarıldığı ifade edilmektedir. O halde iklimlendirme cihazlarının yük talebine eşit veya yakın olacak bir şekilde RT'nin güç üretip bu iklimlendirme yüklerinin karşılanmasında kullanılması gerektiği anlaşılmaktadır. Yine burada da amaç, toplamın sıfır veya sıfıra yakın bir değer çıkmasını sağlamaktır. Üçüncü toplama geçildiğinde, $P_{Bat,S}(t)$ değerinin $P_{R,DY}(t)$ değerinden çıkarıldığı gösterilmektedir. Bataryanın, sadece iklimlendirme yüklerini karşıladıktan sonra geriye kalmış bir RT gücü var ise şarj olacağı anlaşılmaktadır. Son toplam hesaplamasında ise şebeke için işlem yapılmıştır.

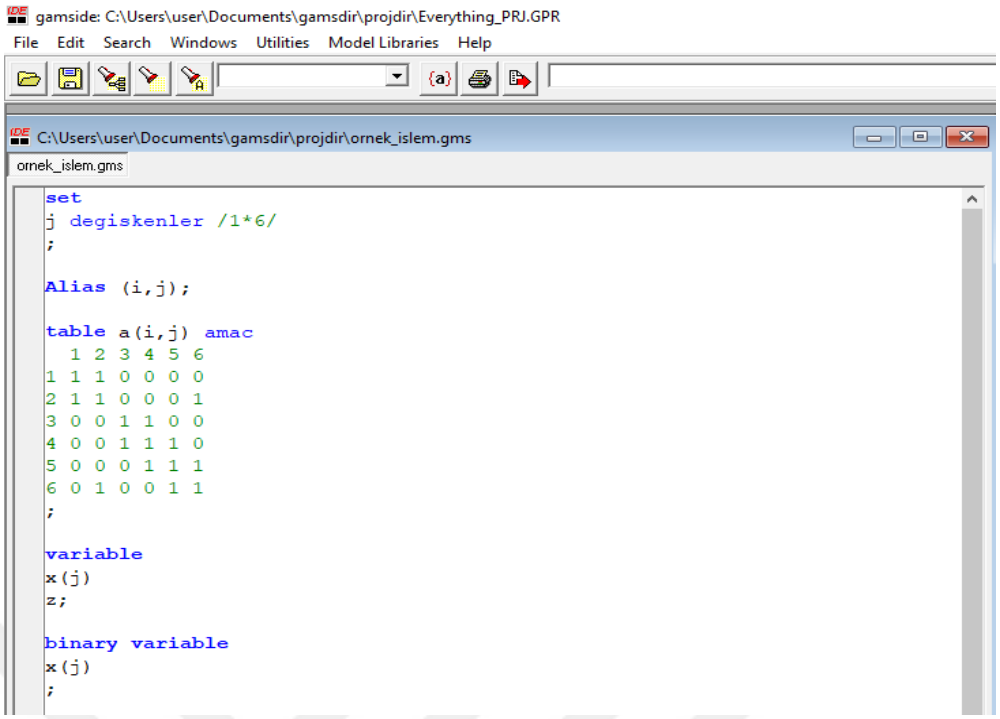
Sadece alternatif kaynakların güç üretememesi durumunda kullanılacak şebeke için çok büyük bir tam sayısı olan K ile sınırlandırılma yapılmıştır. Bu verilen bilgiler bir araya getirildiğinde TM fonksiyonunda bulunan her toplamın sıfır veya sıfıra yakın olacağı anlaşılmaktadır. Bu hedef doğrultusunda (3.1-3.23) kısıtları göz önüne alınarak işlemler yapılacaktır.

$$TM = \sum_{t=1}^{N}\left(P_{R,Ur}(t) - P_R(t)\right) - \sum_{t=1}^{N}\left(P_{\text{İY}}(t) - P_{R,\text{İY}}(t)\right) - \sum_{t=1}^{N}\left(P_{R,DY}(t) - P_{Bat,S}(t)\right) - K \times \sum_{t=1}^{N}\left(P_h(t)\right) \quad (4.1)$$

4.3 Karışık Tam Sayılı Optimizasyon Programı

Optimizasyon problemine konu olan fiziksel sistem, sürekli tipteki değişkenleri ve ayrık tipteki değişkenleri aynı anda barındırabilir. Bu tip sistemler söz konusu olduğunda karışık tam sayılı programlama modeli uygun olmaktadır.

Bu tezdeki optimizasyon probleminin içerdiği farklı değişken tiplerinden dolayı tek bir tipte programlama modeli ile işlem yapılamamaktadır. Bu değişken tiplerinden biri olan ikili tipe örnek olarak (3.17) ve (3.18) kısıdındaki b_{Bat} değişkeni verilebilir. Bu değişken ikili tip olduğu için 0 veya 1 değerleri alabilir. Ancak aynı kısıttaki K değeri ise çok büyük bir tam sayı olarak kabul edilmektedir. Anlaşılmaktadır ki, aynı kısıtta farklı tipte değişkenler bulunmaktadır. Bu nedenle optimizasyon çözümü için karışık tam sayılı optimizasyon yapılmasına imkan veren Şekil 4.2'deki arayüze sahip GAMS v.24.1.3 adlı program kullanılmıştır [48].



Şekil 4.2 GAMS programında örnek bir çalışma

Şekil 4.2'de görüleceği üzere bu programın sözdizimi akışı da diğer programlara benzer olarak öncelikle değişkenlerin tanımlanması ile başlar. Devamında ise verilerin nereden alınacağı ile ilgili kısımların belirlenmesi gereklidir. İstenirse tüm veriler GAMS programında yazılacağı gibi Microsoft Excel programından da veri çağrılışı yapılabilir. Bu çalışmadaki işleyiş, Şekil 4.3'de semboller ile gösterilmiştir. Şekil 4.3 açıklanacak olursa; bölgesel ışınım değerleri ve bölgesel rüzgar hızı verileri Microsoft Excel programına işlenmiş olup, bu programdan veri olarak çekilmiştir. GAMS programında bu veriler için Bölüm 3'te bahsedilen (3.1-3.23) kısıtları göz önüne alınarak optimizasyon eğilimli modeller işlenmiştir. Bu kısıtlara uyularak CPLEX v.12 çözücüsü kullanılarak optimal işletim modeli test edilmiştir [49]. Son olarak sonuçları daha iyi analiz edebilmek adına MATLAB programında grafikler ortaya çıkarılmıştır. Bir sonraki kısımda burada bahsedilen veri, değer ve değişkenlerin nasıl elde edildiği ve sayısal karşılıkları gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Adım adım kullanılan programlar ve yapılan işlemler

5
SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Bu bölümde alternatif enerji kaynaklarının verileri ve (3.1-3.23) kısıtlarıyla birlikte (4.1) TM fonksiyonunun işlenişi ve sonuçları ele alınmıştır. Bu sayısal verilerin ve durumların grafiksel olarak karşılaştırılıp yorumlanmasına yer verilmiştir.

5.1 Simülasyon Çalışmalarında Kullanılan Parametreler ve İklimlendirme Yükleri

Simülasyon çalışmalarında kullanılan, Bölüm 3'te tanımlanmış parametrelerin sayısal değerleri Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Simülasyon Parametreleri

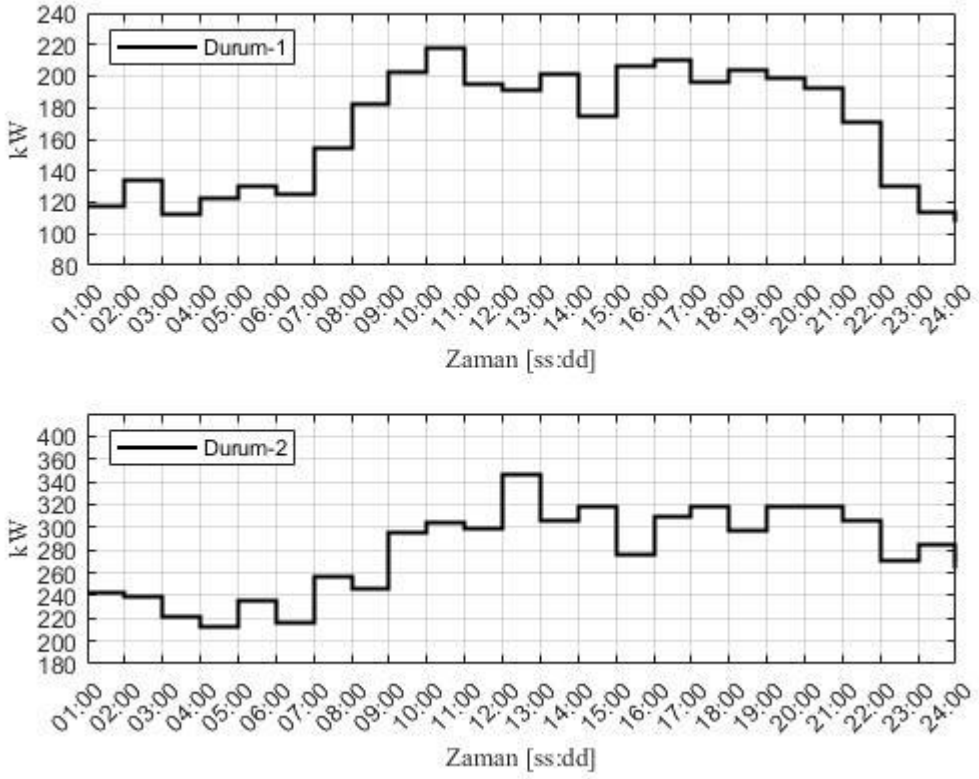
SİMGE	DEĞER
$E_{BED,b}$	Durum-1: 20 Durum-2: 180
$E_{BED,mak}$	200
$E_{BED,min}$	20
$GP_A(t)$	200
GP_{nom}	20k
K	10000
$K_{D,Bat}$	0.2
$K_{S,Bat}$	0.4
$P_{Bat,nom}$	200
R_{nom}	330k

Tablo 5.1 Simülasyon Parametreleri (devamı)

Rt_r	16.7
V_{GP}	0.15
$Vr_{D,Bat}$	1
$Vr_{S,Bat}$	1
ρ	1.2
$\tau_{GP,Kon}$	0.95
τ_r	0.46
$\tau_{r,Kon}$	0.95

Bu çalışmadaki optimizasyon probleminin simülasyonu için örnek bir hastanenin iklimlendirme yükleri için çalışma yapılmıştır. Bu hastane literatür taramasında bahsedilen İtalya'nın başkenti Roma'da bulunan San Giovanni Hastanesi'dir [34,35]. Bu hastanenin seçilmiş olmasının en başlıca sebebi, Prudenzi ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada hastanenin iklimlendirme cihazlarından kaynaklanan yük talebini açıkça grafiksel olarak vermeleridir. Şekil 5.1'de görülen grafik, bahsedilen çalışmadaki kış ve yaz mevsimleri için yapılmış olan bir günlük hastane enerji tüketim grafiğinden ortaya çıkarılmıştır. Bu verileri, onların çalışmasındaki grafikten çıkarabilmek için harici bir yazılım kullanılmıştır. Bu harici yazılım OriginPro adlı programdır [50]. Program sayesinde grafik üzerindeki noktalar tanıtılarak, tam olarak zaman ve değer karşılıkları elde edilebilmiştir. Prudenzi ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalar 2007 ve 2008 senelerine aittir. Kış ve yaz için iki ayrı günün grafiklerini paylaşmışlardır [34,35]. Bu çalışmada ise buna uygun olarak kış için Durum-1, yaz için ise Durum-2 benzetim başlıkları tanımlanmıştır. Şekil 5.1'de Durum-1 ve Durum-2 için hastanenin iklimlendirme cihazlarından kaynaklı güç talebi görülebilmektedir. Durum-2 incelendiğinde iklimlendirme cihazlarının tepe yük noktasının, Durum-1'e göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunda yazın soğutma ihtiyacının artması sebep olmaktadır. Ayrıca her iki durumda da sabah ve akşam saatlerinde

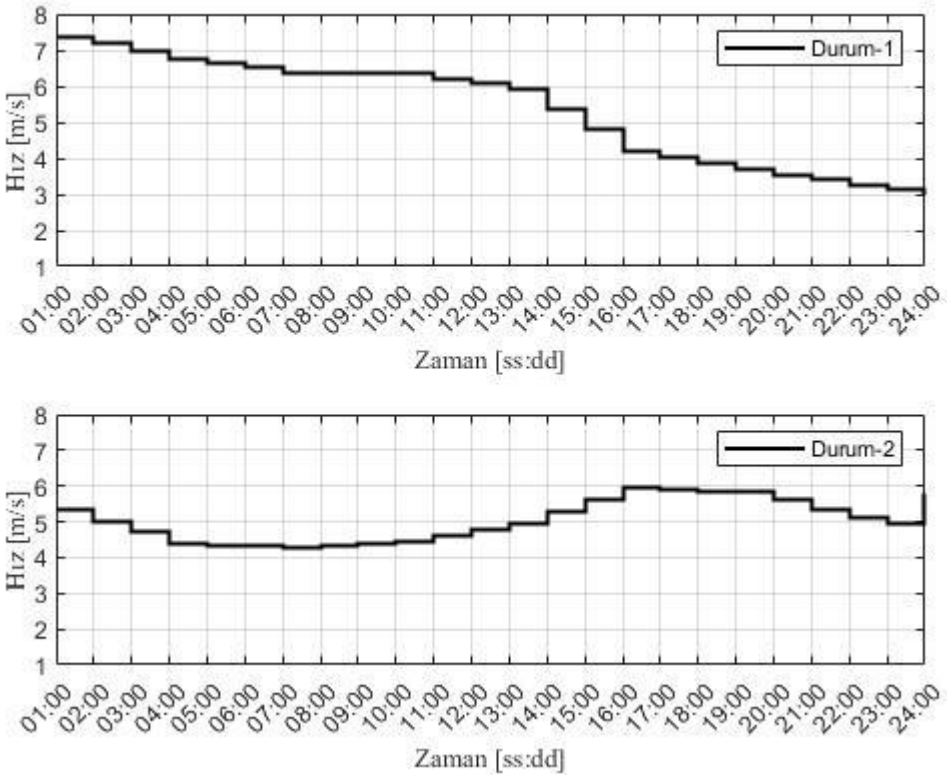
iklimlendirme cihazlarının güç talebinin düştüğü görülmektedir. Ziyaretçilerin gündüz yani öğle saatlerinde daha çok hastanede bulunduğu anlaşılmaktadır. İnsan yoğunluğunun çok olduğu vakitlerde de iklimlendirmenin gücünün artması normaldir.



Şekil 5.1 Roma San Giovanni Hastanesi Durum-1 ve Durum-2 için iklimlendirme cihazlarının güç talepleri [34,35]

Kış ve yaz mevsimlerinden seçilen bir örnek gün, bulundukları mevsimin ortalamasına uygun olacak şekilde seçilmiştir. 24/12/2007 tarihli gün, kış mevsimi için bir başka deyişle Durum-1 için örnek gün olarak seçilmiştir. 24/07/2008 tarihli gün ise yaz mevsimi yani Durum-2 için örnek gün olarak seçilmiştir. Bu seçilmiş günler için San Giovanni Hastanesi'nin bulunduğu konuma ait ışınım ve rüzgar verilerinin bulunması gerekmektedir. Roma'da hastanenin bulunduğu konum için saatlik ışınım ve 10 metre yükseklikteki rüzgar verileri, Avrupa Birliği Komisyonu'nuna bağlı Ortak Araştırma Merkezi (JRC) topluluğunun sunduğu fotovoltaik coğrafya bilgi sisteminden elde edilmiştir [49]. Bu sistem sayesinde istenilen koordinatlardaki 2005 ile 2020 tarihleri arasındaki

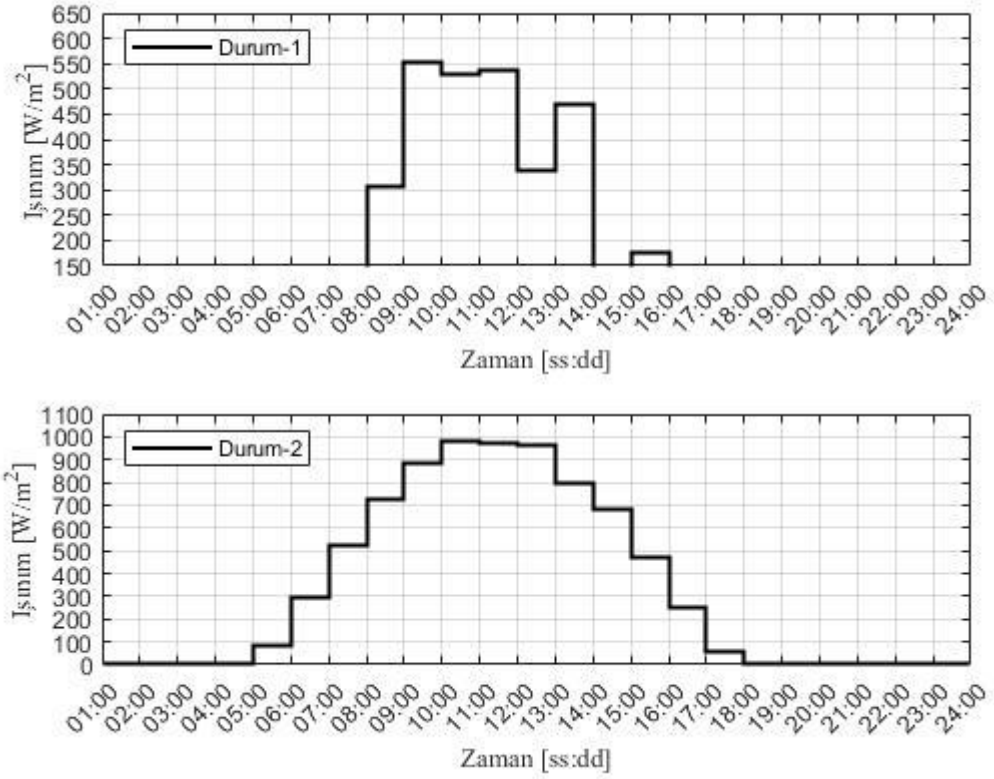
saatlik ışınım ve 10 metre yükseklikteki saatlik rüzgar hızı verisine ulaşılabilmektedir. Şekil 5.2'de Roma'daki San Giovanni Hastanesi'nin konumu yani 41.88504888619195, 12.498786234477347 koordinatları için 10 metre yükseklikteki saatlik rüzgar hızı verileri bulunmuş olup. Durum-1 ve Durum-2 için görülebilmektedir. Şekil 5.2 incelendiğinde Durum-1'deki rüzgarın Durum-2'ye göre daha kuvvetli olduğu görülmektedir. Kış mevsimin, yaz mevsimine göre daha rüzgarlı olması bunda etkendir. Bu da ileride gösterilecek olan rüzgardan güç üretimi konusunda bir fikir vermektedir.



Şekil 5.2 Roma San Giovanni Hastanesi konumundaki Durum-1 ve Durum-2 için 10 metre yükseklikteki saatlik rüzgar hızı [51]

Şekil 5.3'te ise aynı konum için saatlik ışınım verileri Durum-1 ve Durum-2 için görülebilmektedir. Önceki bölümlerde bahsedildiği gibi gün ışığından yararlanılabilen saatlerde ışınım verisi elde edilebilmiştir. Gün ışığının olmadığı akşam veya gece saatlerinde ise ışınım verisi elde edilememektedir. Şekil 5.3 için Durum-1 ve Durum-2 arasındaki farklara bakıldığında ilk olarak Durum-2'deki tepe ışınım noktasının Durum-1'den fazla olduğu görülmektedir. Bunda yaz

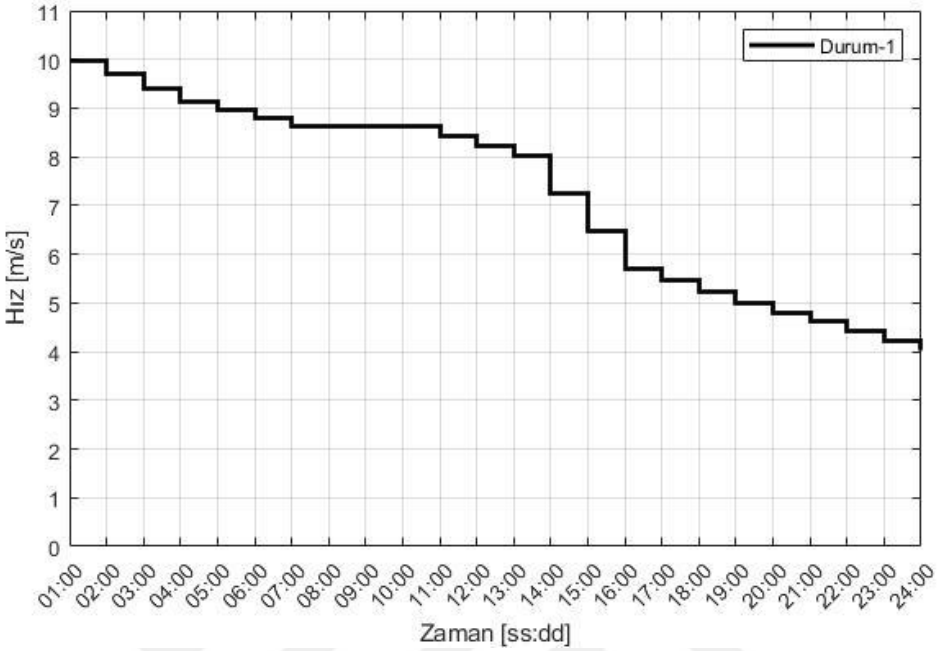
mevsiminin daha bulutsuz geçmesi öne sürülebilir. Kış mevsiminde ise daha bulutlu havalar yaşandığı için ışınım verisi de düşük çıkmaktadır. Ayrıca gün ışığından yararlanma sürelerinin Durum-2'de arttığı görülebilmektedir.



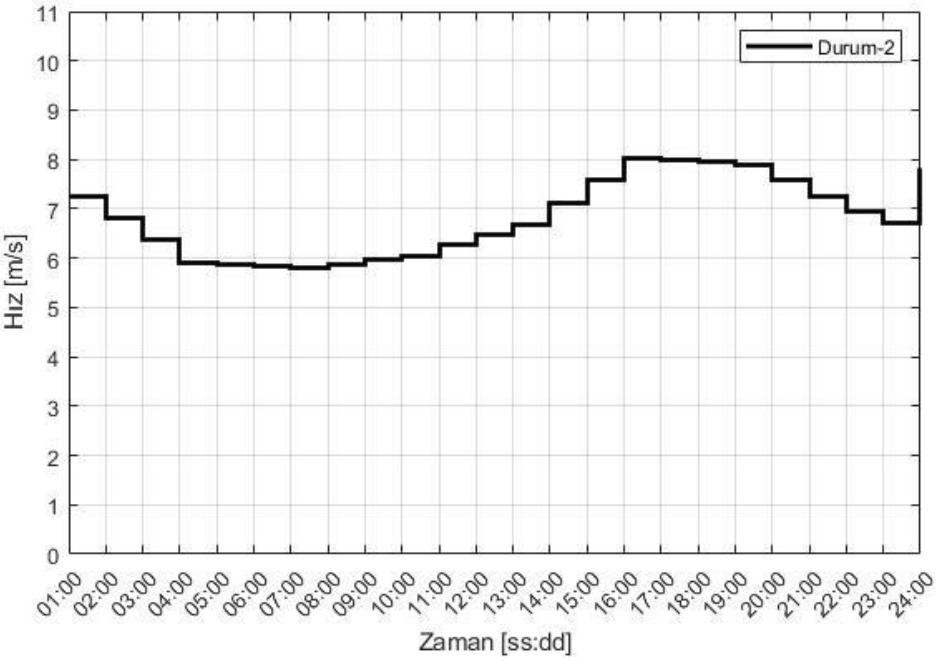
Şekil 5.3 Roma San Giovanni Hastanesi konumundaki Durum-1 ve Durum-2 için saatlik ışınım [51]

Bu çalışmada, benzetim çalışmasında kullanılacak RT seçiminde hastaneler için önerilmiş olan çalışmalar incelenmiştir. Literatürde bulunan hastane için boyutlarıyla uygun görülen 330 kW nominal gücündeki RT tipi bu çalışma için seçilmiştir [33]. Hibrit sistemde yer alacak RT'nin yüksekliği 49 metredir. Şekil 5.2'de bulunan rüzgar verileri ise 10 metre yüksekliğe aittir. 49 metre yükseklikteki rüzgar hızı verisinin bulunması gereklidir. Bu nedenle, öncelikle denklem (3.3) kullanılarak güç üssü bulunur. Bu çalışmada güç üssü değeri 0.19 olarak bulunmuştur. Devamında ise (3.2) denklemi gerçekleştirilir. Saatlik olarak 10 metre yükseklikteki rüzgar hızları formülde işlenir. Hesaplamalar yapılır. Şekil 5.4'te Durum-1 için 49 metre yükseklikteki hesaplanan rüzgar hızı

gösterilmektedir. Şekil 5.5'te ise Durum-2 için 49 metre yükseklikteki hesaplanan rüzgar hızı gösterilmektedir.



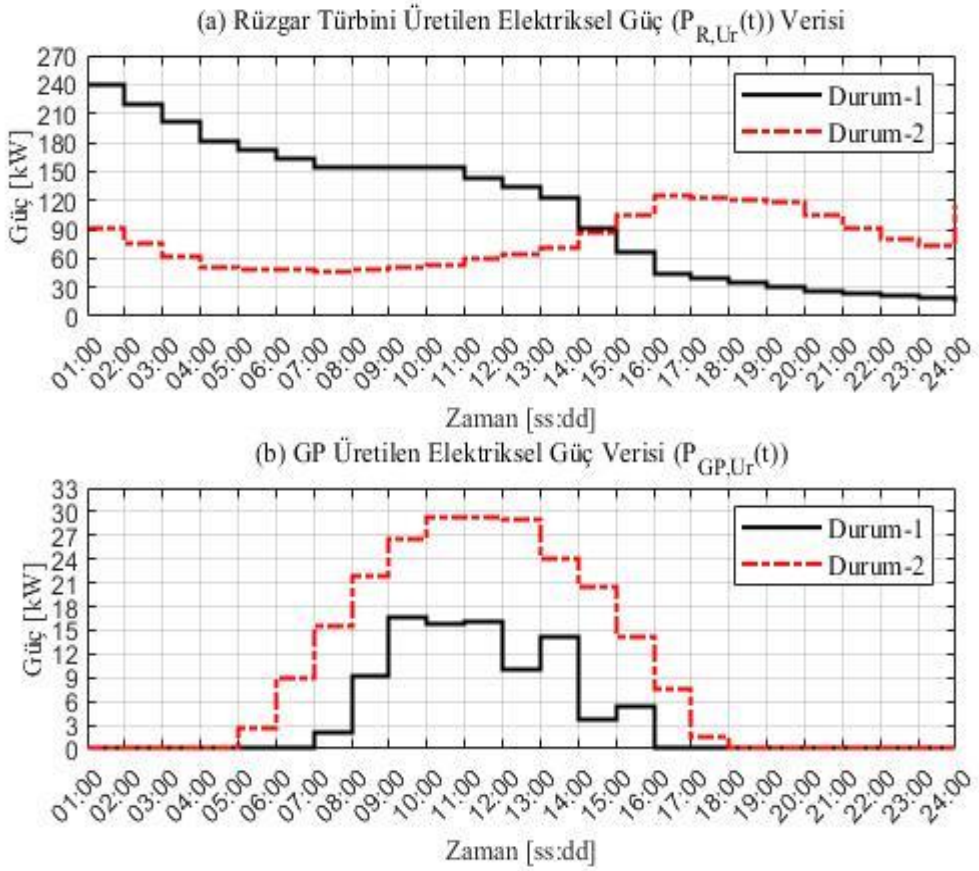
Şekil 5.4 Roma San Giovanni Hastanesi konumundaki Durum-1 için 49 metre yükseklikteki saatlik rüzgar hızı



Şekil 5.5 Roma San Giovanni Hastanesi konumundaki Durum-2 için 49 metre yükseklikteki saatlik rüzgar hızı

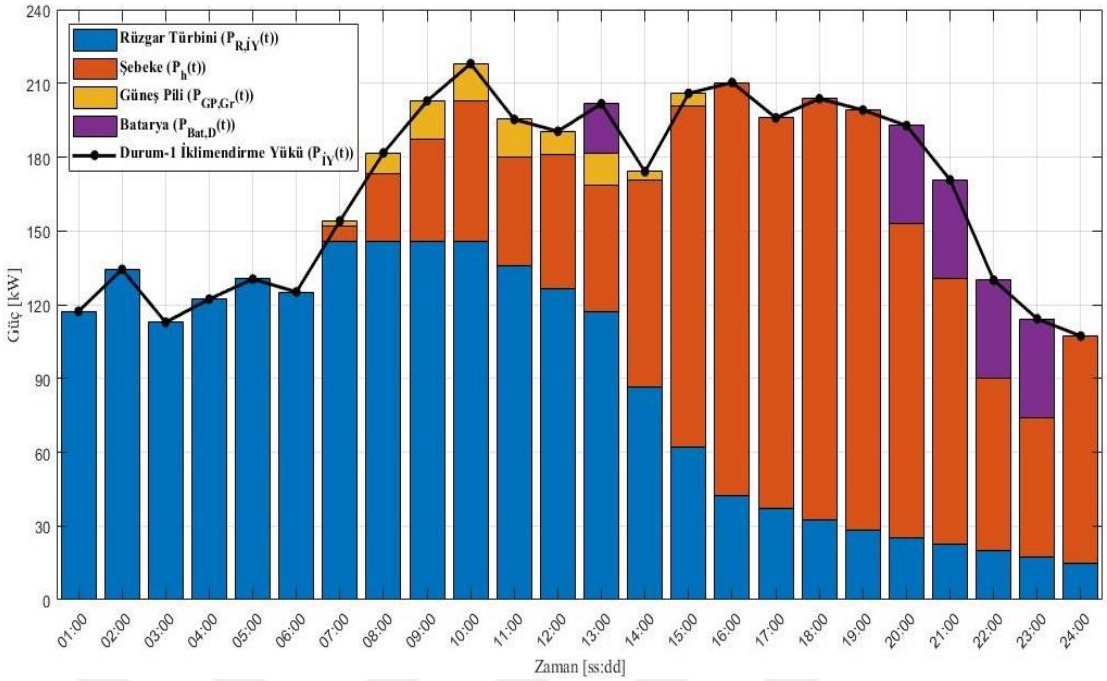
5.2 Simülasyon Çalışmaları ve Sonuçlar

Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te bulunan rüzgar hızları verileri denklem (3.1) içinde hesaplanır. Böylece Durum-1 ve Durum-2 için üretilen RT gücü bulunmuş olur. Durum-1 ve Durum-2 için saatlik üretilen RT güçleri Şekil 5.6-(a)'da gösterilmiştir. Şekil 5.6-(a)'daki sonuçlar incelendiğinde üretilen RT gücünün zirve anının Durum-1 yani kış mevsimine ait olduğu görülmektedir. Bunda daha önceden bahsedildiği gibi rüzgar hızlarının kış aylarında daha fazla olması en büyük etkendir. Şekil 5.4'te Durum-1 için akşam saatlerinde rüzgar hızının düştüğü görülmektedir. Bu nedenle üretilen RT gücü de düşüşe geçmiştir. Şekil 5.6-(a)'da üretilen RT gücü bakımından Durum-2 incelendiğinde Durum-1'e oranla özellikle sabah saatlerinde çok düşük bir üretim olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise Şekil 5.5'te görüleceği üzere yaz mevsiminde rüzgar hızının kış mevsimi ortalamasına göre düşük olmasıdır. Üretilen RT gücü Durum-2'de akşam saatlerinde biraz artmaya başladığı da görülmektedir. Bu çalışmadaki hibrit güç sisteminin diğer bir alternatif kaynağı olan GP üretimi de Şekil 5.6'da gösterilmektedir. GP'nin özellikleri Tablo 5.1'den görülebilmektedir. GP'nin alanı yani $GP_A(t)$ değeri 200 m^2 olarak seçilmiştir. GP'nin verimi yani V_{GP} değeri ise %15 olarak seçilmiştir. Bu değerler ve Şekil 5.3'teki ışınım değerleri denklem (3.6) içinde kullanılıp Durum-1 ve Durum-2 için üretilen GP gücü Şekil 5.6-(b)'de sunulmuştur. Şekil 5.6-(b)'den anlaşılacağı üzere Durum-1 için üretilen GP gücü, Durum-2'ye göre daha düşüktür. Buna kış mevsiminde bulutlu havaların, yaz mevsimine göre daha fazla olması sebebiyet vermektedir.



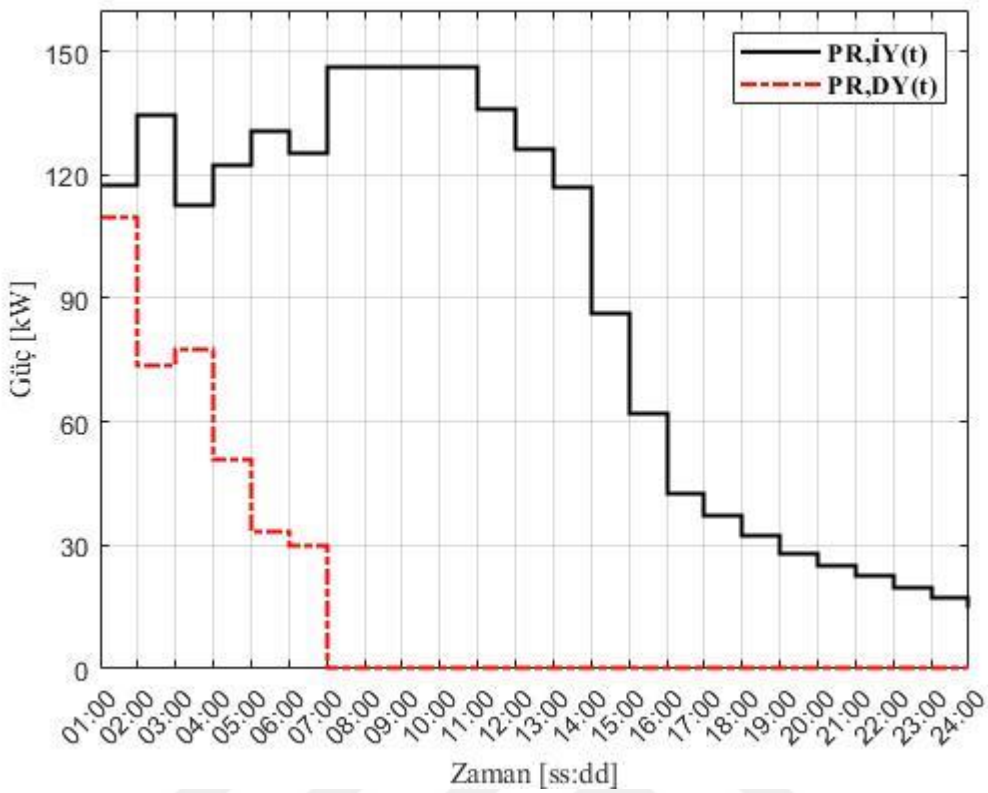
Şekil 5.6 Durum-1 ve Durum-2 için üretilen RT ve GP güçleri

Bu bilgiler ışığında, Bölüm 3'te bahsedilen kısıtlara ve eşitliklere uyularak optimal işletim modeli test edilmiştir. Öncelikle bu simülasyon, Durum-1 için gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.7'de Durum-1 için iklimlendirme yüklerinin nasıl karşılandığı gösterilmiştir. Kısıtlarla belirtildiği gibi tüm iklimlendirme yüklerinin öncelikle alternatif kaynaklarından karşılanması, karşılanamadığında ise şebekeden destek alınması durumu Şekil 5.7'de görülebilmektedir. Günün ilk saatlerinde RT gücünün tek başına tüm iklimlendirme yüklerini karşılamaya yettiği görülmektedir. Zaten bu (3.19-3.23) eşitlikleri veya eşitsizlikleri ile istenen bir durumdur. Şekil 5.7 incelenmeye devam edilirse, sabah saatlerinin gelmesi ile GP'nin de iklimlendirme yüklerinin karşılanmasında katkı verdiğini görüyoruz. Aynı zamanda hastanedeki insan sayısının öğle saatlerinde artması sebebiyle iklimlendirmeye binen çalışma yükünden dolayı alternatif kaynakların yetersiz kaldığı durumlarda, şebekeden de yardım alındığı görülebilmektedir.



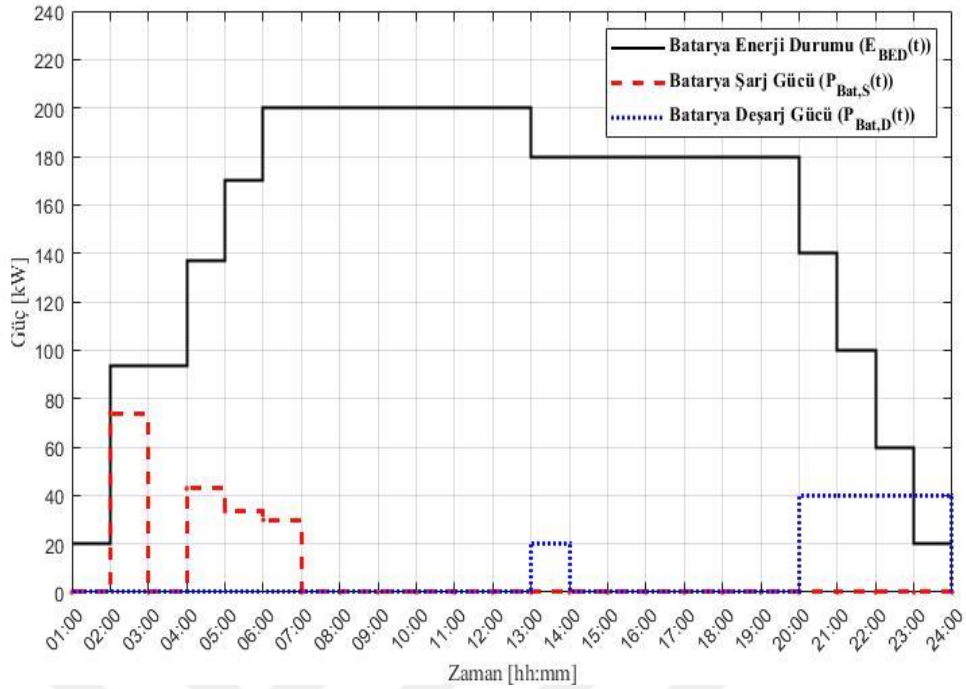
Şekil 5.7 Durum-1 için iklimlendirme yüklerinin güç talep cevabı uygulaması

İlerleyen kısımda, Şekil 5.8'de ise (3.19) eşitliğinde bahsedilen RT gücünün iklimlendirme yükleri için kullanımı yani $P_{R,İY}(t)$ değeri ve RT gücünün iklimlendirme yüklerini karşıladıktan sonra kalan gücü yani $P_{R,DY}(t)$ değeri ile ilgili güç dağılımı grafiği verilmiştir. Şekil 5.8 incelendiğinde, RT gücünün öncelikle iklimlendirme yüklerini karşıladığı görülebilmektedir. Sabah saatlerinde ise RT gücünün, iklimlendirme yüklerinin talep gücünden fazla olması sayesinde, öncelikle Bat şarj edilmiştir. Devamında ise kalan RT gücü, diğer yükleri karşılamıştır. Ancak günün ilerleyen saatlerinde iklimlendirme yüklerinin artması sebebiyle diğer yüklerin, RT gücü tarafından karşılanamadığı görülmektedir.



Şekil 5.8 Durum-1'de iklimlendirme ve diğer yüklerin RT gücü tarafından karşılanması

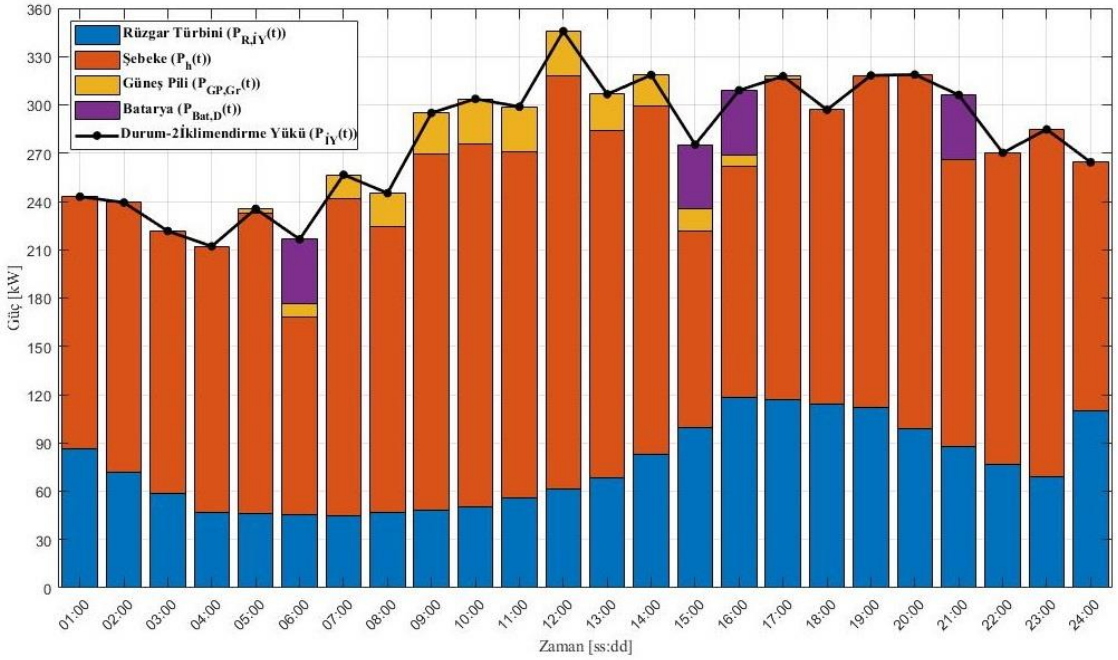
Durum-1 için Bat'ın anlık enerji durumu, Bat'ın şarj ve deşarj olma güçleri Şekil 5.9'da görülebilmektedir. Burada güç değerleri gözükse de aslında Bat'ın nasıl kullanıldığıyla ilgili de bilgiler anlaşılabilmektedir. Bat'ın ilk zaman olarak enerji seviyesi 20 kWs'dir. Bir başka deyişle batarya güne hali hazırda 20 kWs enerji ile başlamaktadır. Devamında ise sabah saatlerinde Bat'ın şarj olduğu görülebilmektedir. İklimlendirme yükleri karşılandıktan sonra kalan RT gücü sayesinde Bat'ın şarj olduğu bilinmektedir. Sabah saat 07:00 itibariyle batarya maksimum kapasitesi olan 200 kWs değerine ulaşır. Bundan sonrasında Bat, iklimlendirme yüklerinin karşılanması için ihtiyaç halinde devreye girerek deşarj olmaya başlamıştır. Günün sonunda ise Bat kendini minimum enerjisi seviyesine indirerek hibrit sistemdeki görevini tamamlamıştır.



Şekil 5.9 Durum-1'de batarya enerji durumu ve bataryanın şarj olma ve deşarj olma güçleri

Durum-2 için de Durum-1 gibi simülasyon çalışması yapılmıştır. Bir başka deyişle Durum-2 için Bölüm 3'te bahsedilen kısıtlara ve eşitliklere uyularak optimal işletim modeli test edilmiştir. Bu iki durumun sonuçlarında dramatik farklar ortaya çıkmaktadır. Bunda Durum-1'in kış mevsimini, Durum-2'nin ise yaz mevsimini temsil etmesi en önemli pay sahibidir. Mevsimsel olarak alternatif kaynakların güç üretim değerleri değişmektedir. Açıklamak gerekirse Durum-2'de rüzgar hızının, Durum-1'e göre düşük olması sebebiyle üretilen RT gücü düşmektedir. Bu en iyi olarak Şekil 5.10'da görülebilmektedir. Durum-1'deki bu grafiğin karşılığı olan Şekil 5.7 karşılaştırıldığında Durum-2'de RT gücünün tek başına iklimlendirme yüklerini karşılayamadığı görülmektedir. Durum-1'de ise tam tersi bir sonuç vardır. Ancak Durum-2'de pozitif bir gelişme olarak GP güç üretimi, Durum-1'e göre fazladır. Bunun sebebi yaz mevsiminde bulutlu havanın az olması ve gün ışığından daha fazla yararlanılmasıdır. Şekil 5.10'da görüleceği üzere Durum-2'de GP gücü, iklimlendirme yüklerini karşılamak için Durum-1'e göre daha erken devreye girmiş ve daha geç devreden çıkmıştır. Ancak GP'den de RT'den de maksimum düzeyde yararlanılmasına rağmen, iklimlendirme yüklerine

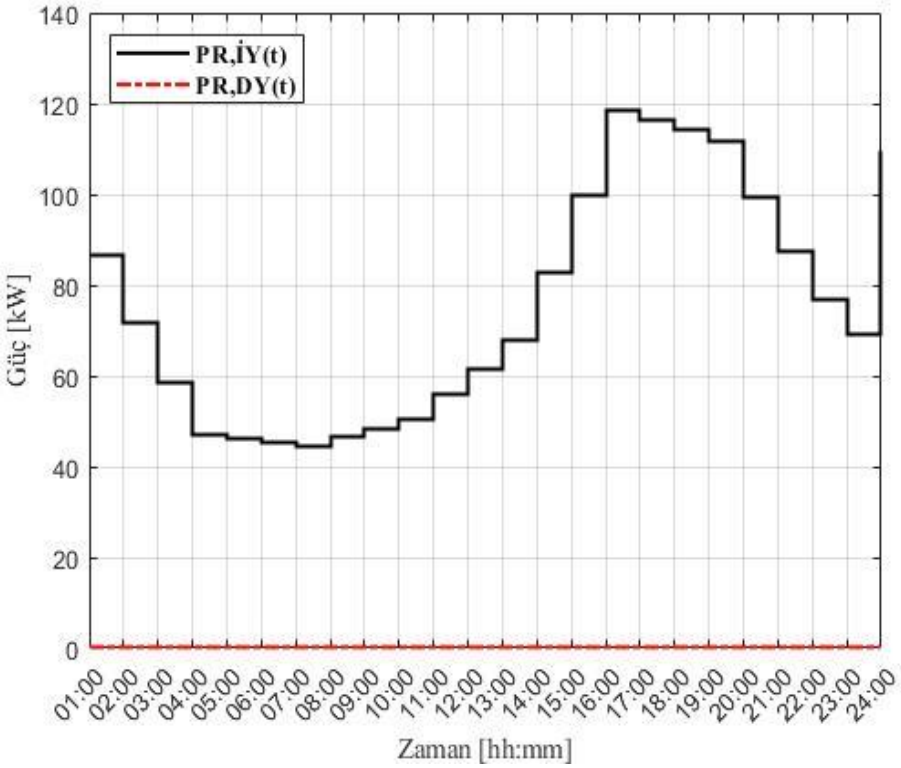
göre düşük güçte kalmışlardır. Şebekeden destek alınmadan önce, iklimlendirme yüklerinin karşılanmasında öncelikli olarak RT, devamında GP ve Bat kullanılmaktadır. En son şebekeden destek alınmaktadır. Durum-2'de alternatif kaynaklar yetersiz kaldığı için günün her saatinde iklimlendirme yüklerinin karşılanabilmesi için şebekeden destek alınmıştır. Sonuç olarak Durum-2'deki şebekeden alınan güç, Durum-1'e göre fazladır.



Şekil 5.10 Durum-2 için iklimlendirme yüklerinin güç talep cevabı uygulaması

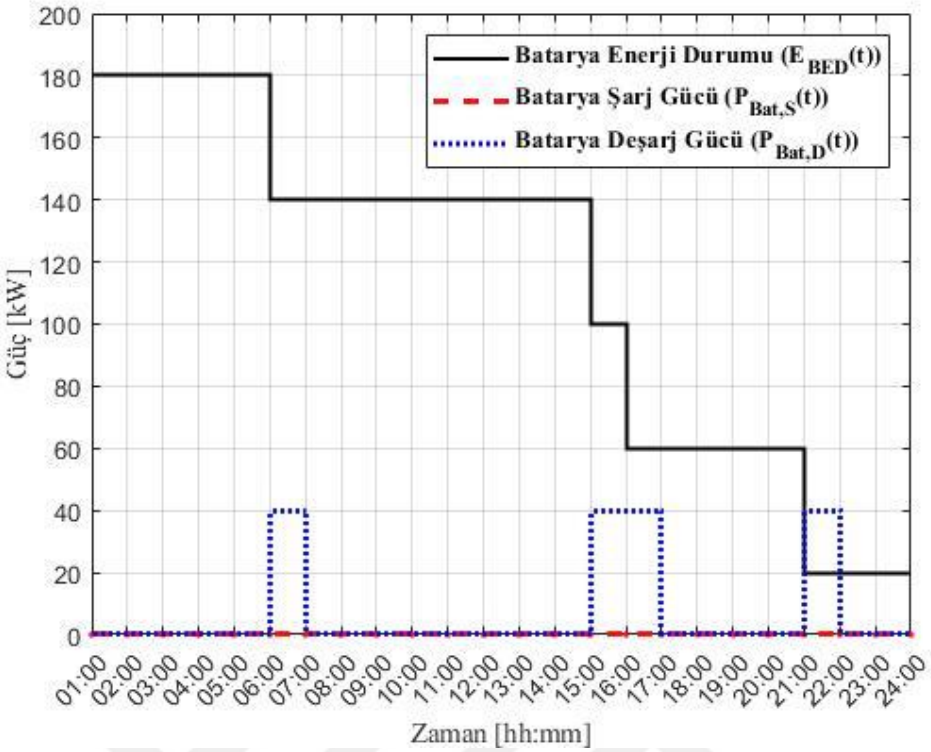
Durum-2 için de RT gücünün paylaşımının incelenmesi gerekmektedir. Bu kısımda da Durum-2 ile Durum-1 arasında ciddi farklı sonuçlar çıkmaktadır. Şekil 5.11'de (3.19) eşitliğinde bahsedilen RT gücünün iklimlendirme yükleri için kullanımı yani $P_{R,\text{İY}}(t)$ değeri ve RT gücünün iklimlendirme yüklerini karşıladıktan sonra kalan gücü yani $P_{R,DY}(t)$ değeri ile ilgili güç dağılımı grafiği Durum-2 için verilmiştir. Şekil 5.11 incelendiğinde, Durum-2 için RT gücünün tamamı iklimlendirme yüklerine harcandığı görülmektedir. Bu nedenle hiçbir şekilde diğer yükler ve Bat şarjı RT gücü ile karşılanamamıştır. Durum-1'de ise diğer yüklerin RT gücü ile karşılanması ve Bat'ın şarj olması mümkün olmaktaydı. Burada da iklimlendirme yükleri, RT gücü karşılanıp biraz da olsa RT gücünden artış sağlansaydı Bat'ın şarj olup, diğer yüklerin karşılanması grafikte görülebilirdi.

Bunun olmamasının sebebi önceki kısımlarda bahsedildiği gibi Durum-2'deki rüzgar hızının, Durum-1'e göre daha düşük olmasıdır.



Şekil 5.11 Durum-2'de iklimlendirme ve diğer yüklerin RT gücü tarafından karşılanması

Durum-2 için Bat'ın anlık enerji durumu, Bat'ın şarj ve deşarj olma güçleri Şekil 5.12'de görülebilmektedir. Durum-1'den farklı olarak, üretilen RT gücü düşük olduğu için Bat'ın ilk zaman olarak enerji seviyesi 180 kWs olarak belirlenmiştir. Bir başka deyişle Bat güne hali hazırda 180 kWs enerji ile başlamaktadır. Durum-2'deki Bat, Durum-1'deki Bat'a göre gün içerisinde hiç şarj olamamıştır. Durum-2 için Bat sadece deşarj olmuştur. Bat kendi maksimumunu vererek iklimlendirme yüklerine destek vermiştir. Günün sonunda ise Bat kendini minimum enerjisi seviyesine indirerek hibrit sistemdeki görevini tamamlamıştır.



Şekil 5.12 Durum-2'de batarya enerji durumu ve bataryanın şarj olma ve deşarj olma güçleri

6
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, iklimlendirme cihazlarının yoğun olarak bulunduğu kamu binaları veya günlük olarak ağırladığı insan sayısı fazla olan binaların iklimlendirme yükleri için optimal talep cevabı uygulaması yapılmıştır. Benzetim çalışması ise hastane üzerinde yapılmıştır. Hastanelerin 7 gün 24 saat yaşayan alanlara sahip olmasından ötürü iklimlendirme cihazları çok yoğun kullanılmaktadır. Bir başka deyişle hastanelerin iklimlendirme yükleri, diğer bina tiplerine göre oldukça fazladır. Bu çalışmanın amacını oluşturan binaların iklimlendirme yükleri için yapılan talep cevabı uygulamasında öncelikle alternatif enerji kaynaklarının kullanılması, bu çalışma için zorlu bir imtihan oluşturup, motivasyon kaynağı olmuştur. Bu çalışmada kullanılan hibrit güç sisteminde yer alan alternatif enerji kaynakları güneş ve rüzgardır. Güneş pili, rüzgar türbini ve rüzgar türbininin oluşturduğu güçle şarj olabilen batarya birimi sisteme dahil edilmiştir. Alternatif enerji kaynaklarının hava olayları sebebiyle güç üretememesi olasılığına karşılık olarak şebekeden kısmi güç alımı ile iklimlendirme yüklerinin karşılanması da optimizasyon modeline eklenmiştir. Sistemde bulunan güç birimleri için çeşitli kısıtlar belirlenmiş olup, bunlar eşitlik veya eşitsizlikler ile tanımlanmıştır. Bu tanımlamalara uyularak optimal işletim modeli oluşturulmuştur.

Bahsedilen model ise hastane iklimlendirme yüklerine göre kış mevsimi için Durum-1 ve yaz mevsimi için Durum-2 olmak üzere test edilmiştir. Test sonuçları Durum-1 ve Durum-2 için Bölüm 5'te detaylı olarak paylaşılmıştır. Durum-1 yani kış mevsiminde ortalama rüzgar hızının daha fazla olması sebebi ile rüzgar türbininden üretilen güç, Durum-2 yani yaz mevsimine göre daha fazla olmuştur. Özellikle Durum-1'de günün ilk saatlerinde binanın tüm iklimlendirme yüklerinin, rüzgar türbini gücünden karşılandığı görülmüştür. Daha büyük rotor yarıçapına sahip bir rüzgar türbini ile daha faz güç üretilebileceği denklem (3.1) sayesinde bilinmektedir. Buradan hareketle bu tezde seçilen rüzgar türbininden daha büyük rotor yarıçapına sahip bir rüzgar türbini seçimi ile daha fazla güç elde edilebileceği ve böylece günün ilerleyen saatlerinde de rüzgar türbini sayesinde iklimlendirme

güçlerinin tamamının karşılanabileceği anlaşılmaktadır. Ancak büyük rotor yarıçaplı rüzgar türbinleri için daha büyük alanlar ve daha fazla güvenlik önlemleri gerektirmektedir. Ayrıca hastane çevresinde daha fazla gürültü kirliliğine sebep olmaktadır. Bu nedenle hastanelerin geneli için çok büyük rotor yarıçapına sahip rüzgar türbinleri uygun değildir. Durum-1'de rüzgar türbini iklimlendirme yüklerinin tamamını karşılayıp hatta ihtiyaçtan fazla güç ürettiği zamanlarda bataryayı şarj edebildiği tespit edilmiştir. Ayrıca hastanenin bulunduğu bölge gün ışığı almaya başlayınca güneş pili de güç üretmeye başlamıştır. Bu sayede rüzgar türbininin yetersiz kaldığı durumlarda öncelikle güneş pili devreye girmiştir. Rüzgar türbini yetersiz kalmaya başladıkça batarya da devreye girmiştir. Görüleceği üzere modele uygun olarak öncelikle alternatif enerji kaynaklarından yararlanılmıştır. Alternatif enerji kaynaklarının yetersiz kaldığı durumlarda şebekeden kısmi güç alınmıştır.

Durum-2 yani yaz mevsiminde yaşanan hava olaylarının, Durum-1 yani kış mevsimine göre farklı olduğu Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te görülmüştür. Yaz mevsimi ile birlikte ortalama rüzgar hızı, kış mevsimine göre düşmüştür. Bu sebeple, rüzgar türbininden üretilen güç de Durum-1'e göre düşük kalmaktadır. Ancak yaz mevsimi sayesinde gün ışığından yararlanılan süreler artmıştır. Böylece Durum-2'de güneş pilinin katkısı, Durum-1'e göre daha fazla olmuştur. Ancak güneş pili teknolojisinin üretebileceği maksimum güç, rüzgar türbinin teknolojisinin üretebileceği maksimum güce göre düşük kalmaktadır. Ayrıca Şekil 5.1'de Durum-2'deki iklimlendirme yüklerinin, Durum-1'e göre daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun başlıca sebebi yaz ile birlikte soğutmanın da bir ihtiyaç haline gelmesidir. Durum-2 için artan iklimlendirme yüklerinin karşılanabilmesi için Durum-1'e göre daha fazla güç üretilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Durum-1'de belli saatlerde rüzgar türbini tek başına iklimlendirme yüklerini karşılayabilirken, Durum-2'de ise bu durum hiç gerçekleşmemiştir. Ayrıca güneş pili de iklimlendirme yüklerinin karşılanmasında yetersiz kalmıştır. Durum-2'de güne tam doluluk oranıyla başlayan batarya da minimum doluluk oranına kadar deşarj olarak maksimum seviyede katkı vermiştir. Durum-2'de alternatif enerji kaynaklarının hava olayları sebebiyle yetersiz kalması ile şebekeden çekilen güç, Durum-1'e göre fazladır.

Bu sonuçlar incelendiğinde optimizasyon eğilimli modelde istendiği gibi binalardaki iklimlendirme yüklerinin öncelikli olarak alternatif enerji kaynaklarından sağlandığı, alternatif enerji kaynaklarının mevsimsel olaylardan ötürü yetersiz kaldığı durumlarda ise şebekeden yardım alındığı tespit edilmiştir. Alternatif enerji kaynakları tabiatları gereği mevsimsel olaylara bağımlıdır. Bu tez sayesinde, alternatif enerji kaynaklarına sahip binaların kurulacağı bölgenin seçiminin önemi ortaya çıkmaktadır. Binaların daha proje aşamasındayken kullanılacak alternatif enerji kaynaklarının hangi kapasitede seçilmesi gerektiği ile ilgili bu tez, bu konuda araştırma yapacak olanlara referans olabilecektir.

Yapılan bu teze ileriki zamanda bazı güncelleme çalışmaları yapılabilir. İlerleyen dönemde alternatif enerji kaynaklarının teknolojisinin gelişmesi ile birlikte rüzgar türbinlerinin ve güneş pillerindeki verimliliğin artması durumunda daha yüksek kapasitede güç üretimi ile birlikte çok yoğun kullanıma sahip kamu binalarının bir tam günlük iklimlendirme yük ihtiyaçlarını karşılayabilmesi mümkün olup olmayacağı tekrar gözden geçirilebilir. Bir başka deyişle ileriki senelerde verimliliği geliştirilmiş sistemler ile tekrar buna benzer bir çalışma yapılarak, bu teknolojideki gelişim öngörülebilecektir.

Bu teze benzer olarak ileride hastane uygulaması yapılacak olursa iklimlendirme yüklerinin yanına hastane ekipman yükleri de katılarak, hastaneler için genel bir talep cevap uygulaması geliştirilmiş çalışmalar literatüre kazandırılabilir.

İleriki zamanda kamu binalarında yapılacak çalışmalarda, optimizasyon probleminin çözümünde binadaki çalışanların da kullanılması düşünülebilir. Bu bağlamda yapılacak çalışmada işe elektrikli aracıyla gelen çalışanların, otoparkta park halinde bulunan şahsi araçlarındaki batarya sayesinde binada bulunan bataryayı şarj etmeleri ile optimizasyon probleminin çözümüne katkı sağlanması mümkün olabilir. Bir başka deyişle, binanın şebeke kullanım tarifesinin yüksek olduğu vakitlerde, elektrik ihtiyacının elektrikli araçlardan karşılanması ve bu elektrikli araçların şebeke kullanım bedelinin düşük olduğu vakitlerde şarj edilmesi ile bina yönetimi ciddi ekonomik kazanımlar elde edebilir. Sadece ekonomik anlamda kalmayarak, çalışanların elektrikli araçları farklı amaçlar için kullanılabileceği projeler de düşünülebilir. Herhangi bir afet durumunda

oluşabilecek şebeke kesintilerinde çalışanların elektrikli araçlarının bataryaları binanın elektrik ihtiyacını giderebilir. Böylece elektrikli araç bataryaları binanın acil durum jeneratörlerine destek olarak, afet durumunda binanın işlevsel kalması sağlanabilir. Bu tarz projelerin hastaneler için hayati önem taşıyabileceği anlaşılmaktadır.

Ayrıca gelecekte yapılabilecek çalışmalarda, bu tezde kullanılmamış olan çevre dostu alternatif enerji kaynakları ile hibrit güç sistemi tasarlanması ve bunların optimizasyon eğilimli modelleri konu edilebilir. Hidrojen enerjisi, jeotermal enerji, okyanus dalga enerjisi ve biyokütle enerjisi çevre dostu alternatif enerji kaynaklarına örnek olarak verilebilir. Avrupa Birliği'nin hidrojen elektroliz cihazları ile sudan elektrik üretebilen projelerini ve okyanuslardaki dalgalardan yararlanarak elektrik üretebilen projeleri teşvik ettiği bilinmektedir [37]. Bu iki alternatif enerji kaynağından dalga enerjisi ile ilgili ileriki zamanda yapılacak adada bulunan binalar için yapılacak çalışmalarda kullanımı düşünülebilir. Adada bulunan bir bina denize veya okyanusa yakın olacağı için dalga enerjisi santrali kurulmasına müsait olacaktır. Bu dalga enerjisi santralleri sayesinde kendi kendine yetebilen binalar veya ada olmasından dolayı yaşanabilecek şebekeden elektrik alınamama durumlarında bu dalga enerjisi hayati öneme sahip olacaktır. Bahsi geçen farklı alternatif enerji kaynakları, farklı bina tipleri ve farklı bölgeler üzerinde denenebilir.

KAYNAKÇA

[1] B. Sun, P. B. Luh, Q. Jia, Z. Jiang, F. Wang and C. Song, "Building Energy Management: Integrated Control of Active and Passive Heating, Cooling, Lighting, Shading, and Ventilation Systems," in IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 10, no. 3, pp. 588-602, July 2013.

[2] G. Terekli, O.Özkan ve G.Bayın "Çevre Dostu Hastaneler: Hastaneden Yeşil Hastaneye," Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi Cilt 12, Sayı 2, 2013.

[3] Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (BEPY), 2008 Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Resmi Gazete, Sayı: 27075.

[4] Shen, Chenyao & Zhao, Kang & Ge, Jian & Zhou, Qingli. (2019). Analysis of Building Energy Consumption in a Hospital in the Hot Summer and Cold Winter Area. Energy Procedia. 158. 3735-3740.

[5] Z. Xu, Q. Jia and X. Guan, "Supply Demand Coordination for Building Energy Saving: Explore the Soft Comfort," in IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 12, no. 2, pp. 656-665, April 2015.

[6] Y. K. Kim and H. Altan, "Analysis of energy reduction through HVAC commissioning: A case study of a LEED certified new building," 2018 5th International Conference on Renewable Energy: Generation and Applications (ICREGA), 2018, pp. 216-219.

[7] J. D. Billanes, Z. Ma and B. N. Jørgensen, "The Bright Green Hospitals Case Studies of Hospitals' Energy Efficiency And Flexibility in Philippines," 2018 8th International Conference on Power and Energy Systems (ICPES), 2018, pp. 190-195.

[8] Ozan Erdinç, Economic impacts of small-scale own generating and storage units, and electric vehicles under different demand response strategies for smart households, Applied Energy, Volume 126, 2014, Pages 142-150, ISSN 0306-2619.

[9] Ozan Erdinç Et Al. , "End-User Comfort Oriented Day-Ahead Planning for Responsive Residential HVAC Demand Aggregation Considering Weather Forecasts," IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID, vol.8, pp.362-372, 2017.

[10] Ozan Erdinç, Optimization in Renewable Energy Systems, Butterworth-Heinemann, 2017, ISBN 9780081010419.

[11] Morales, Juan M., et al. Integrating renewables in electricity markets: operational problems. Vol. 205. Springer Science & Business Media, 2013.

[12] G. Goddard, J. Klose and S. Backhaus, "Model Development and Identification for Fast Demand Response in Commercial HVAC Systems," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 5, no. 4, pp. 2084-2092, July 2014.

[13] H. Hao, Y. Lin, A. S. Kowli, P. Barooah and S. Meyn, "Ancillary Service to the Grid Through Control of Fans in Commercial Building HVAC Systems," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 5, no. 4, pp. 2066-2074, July 2014.

[14] Jiaqi Yuan, Ziwei Xiao, Xiaofei Chen, Zhan Lu, Ji Li, Wenjie Gang, A Temperature & Humidity Setback Demand Response Strategy for HVAC Systems, Sustainable Cities and Society, Volume 75, 2021, 103393, ISSN 2210-6707.

[15] J. Zheng et al., "A Demand Response Strategy for HVAC Systems for Peak Load Shedding," 2021 6th International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE), 2021, pp. 846-851.

[16] M. Cai, S. Ramdaspalli, M. Pipattanasomporn, S. Rahman, A. Malekpour and S. R. Kothandaraman, "Impact of HVAC Set Point Adjustment on Energy Savings and Peak Load Reductions in Buildings," 2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2), 2018, pp. 1-6.

[17] Keskin Arabul, Fatma & Arabul, Ahmet & Kumru, Celal & Boynuegri, A.R.. (2017). Providing energy management of a fuel cell–battery–wind turbine–solar panel hybrid off grid smart home system. International Journal of Hydrogen Energy. 42.

[18] Ashkan Talebi & Alireza Hatami (2020) Online fuzzy control of HVAC systems considering demand response and users' comfort, Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 15:7-9, 403-422.

[19] J. Cao, B. Yang, K. Ma, C. Chen and X. Guan, "Residential HVAC load control strategy based on game theory," 2017 Chinese Automation Congress (CAC), 2017, pp. 5933-5938.

[20] A. -Y. Yoon, Y. -J. Kim and S. -I. Moon, "Optimal Retail Pricing for Demand Response of HVAC Systems in Commercial Buildings Considering Distribution Network Voltages," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 10, no. 5, pp. 5492-5505, Sept. 2019.

[21] D. T. Vedullapalli, R. Hadidi and B. Schroeder, "Optimal Demand Response in a building by Battery and HVAC scheduling using Model Predictive Control," 2019 IEEE/IAS 55th Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS), 2019, pp. 1-6.

[22] H. Gong, E. S. Jones, R. E. Alden, A. G. Frye, D. Colliver and D. M. Ionel,"Demand Response of HVACs in Large Residential Communities Based on Experimental Developments," 2020 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2020, pp. 4545-4548.

[23] D. Strongylis et al., "A Demand-Response integrated solution for HVAC units in office buildings application," 2021 56th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2021, pp. 1-6.

[24] Y. -J. Kim, "A Supervised-Learning-Based Strategy for Optimal Demand Response of an HVAC System in a Multi-Zone Office Building," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 11, no. 5, pp. 4212-4226, Sept. 2020.

[25] J. Berardino and C. Nwankpa, "Dynamic Load Modeling of an HVAC Chiller for Demand Response Applications," 2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications, 2010, pp. 108-113.

[26] N. A. Daher et al., "Improved control method of HVAC system for Demand Response," 2018 4th International Conference on Renewable Energies for Developing Countries (REDEC), 2018, pp. 1-6.

[27] B. Nourdine and A. Saad, "Energy Consumption in Hospitals," 2020 International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT), 2020, pp. 1-6.

[28] S. Alhurayess and M. K. Darwish, "Analysis of energy management in hospitals," 2012 47th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), London, 2012, pp. 1-4.

[29] P. Sarikprueck, C. Attaphong, P. Lumyong and B. Ngamwatthanasilpa, "Analyzing technique for electrical energy monitoring system in Thailand hospital," 2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), 2017, pp. 1-4.

[30] C. Koulamas, A. Moronis, A. Kalogeras and D. Liberanome, "Choosing measures for energy efficient hospital buildings," 2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Limassol, 2017, pp. 1-7.

[31] E. Gordo, A. Campos and D. Coelho, "Energy efficiency in a hospital building case study: Hospitais da universidade de Coimbra," Proceedings of the 2011 3rd International Youth Conference on Energetics (IYCE), 2011, pp. 1-6.

[32] Y. Mizuno et al., "A New Load Prediction Method and Management of Distributed Power System in Island Mode of a Large Hospital," 2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 2018, pp. 1215-1220.

[33] Tahboub, Radwan & Ibrik, Imad & Tamimi, Mohammad. (2011). The Potential and Feasibility of Solar and Wind Energy Applications in Al-Ahli Hospital.

[34] A. Prudenzi, V. Caracciolo and A. Silvestri, " Identification of electrical load typical patterns in hospital for supporting energy management strategies " 2008 IFHE.

[35] A. Prudenzi, V. Caracciolo and A. Silvestri, "Electrical load analysis in a hospital complex," 2009 IEEE Bucharest PowerTech, 2009, pp. 1-6.

[36] S. Seyam, "Types of HVAC Systems", in HVAC System. London, United Kingdom: IntechOpen, 2018.

[37] European Union: European Commission, Report from the Commission to the European Parliament and the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: State of the Energy Union 2021 - Contributing to the European Green Deal and the Union’s recovery,

Brussels, 26.10.2021, COM(2021) 950 Final. Erişim Tarihi: 16.03.2022, https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=COM:2021:950:FIN.

[38] B. Ioan, B. Horia and O. P. T. Susana, "Determination of the power generated by a wind turbine in constant wind and variable wind," 2015 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), 2015, pp. 769-773.

[39] I. Tizgui, H. Bouzahir, F. E. Guezar and B. Benaid, "Wind speed extrapolation and wind power assessment at different heights," 2017 International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT), 2017, pp. 1-4.

[40] M. Repak, A. Otcenasova, M. Regula and R. Bodnar, "Design of power converter for model of photovoltaic power plant," 2016 ELEKTRO, 2016, pp. 359-363.

[41] Tanwar, Mangila & Agarwal, Anshul & Mishra, Abhishek. (2018). Power Output Enhancement of Solar Panels by Field Area Optimization. 364-368.

[42] Photovoltaic Calculator. PVC. Erişim Tarihi: 01.06.2021, İnternet Erişim Adresi: https://photovoltaic-software.com/principle-ressources/how-calculate-solar-energy-power-pv-systems.

[43] S. V. Mitrofanov and D. K. Baykasenov, "To the Issue of Increasing the Energy Efficiency of Photovoltaic Installations," 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2020, pp. 1-5.

[44] T. Kozak, W. Maranda, A. Napieralski, G. De Mey and A. De Vos, "Influence of ambient temperature on the amount of electric energy produced by solar modules," 2009 MIXDES-16th International Conference Mixed Design of Integrated Circuits & Systems, 2009, pp. 351-354.

[45] Arshad, Rizwan & Tariq, Salman & Niaz, Muhammad & Jamil, Mohsin. (2014). Improvement in solar panel efficiency using solar concentration by simple mirrors and by cooling. 2014 International Conference on Robotics and Emerging Allied Technologies in Engineering, iCREATE 2014 - Proceedings. 292-295.

[46] Sarker, Ruhul & Newton, C.S.. (2007). Optimization modelling: A practical approach.

[47] Eren, Yavuz, İbrahim B. Küçükdemiral, and İlker Üstoğlu. "Introduction to optimization." Optimization in renewable energy systems. Butterworth-Heinemann, 2017. 27-74.

[48] General Algebraic Modeling System. GAMS. Erişim Tarihi: 10.07.2021, İnternet Erişim Adresi: http://www.gams.com.

[49] CPLEX 12 Solver Description. Erişim Tarihi: 10.07.2021, İnternet Erişim Adresi: http://www.gams.com/dd/docs/solvers/cplex.pdfg

[50] OriginPro, Erişim Tarihi: 01.11.2021, İnternet Erişim Adresi: www.originlab.com/.

[51] Photovoltaic Geographical Information System European Union Science Hub. PVGIS, Erişim Tarihi: 01.06.2021, İnternet Erişim Adresi: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Makale

1. AKINCI, G. Ş., EREN Y, Hibrit Güç Sistemi İle İklimlendirme Yüklerinin Optimal İşletim Modeli Ve Hastane İklimlendirme Yükleri İçin Talep Cevabı Uygulaması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi.