



**T.C.  
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DÜŞÜK ENERJİLİ OPTİMUM GÜNEŞ EVİ  
TASARIMI**

**Iman Ahmed Nooruldeen NOORULDEEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı**

**1-2023  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

İman Ahmed Nooruldeen NOORULDEEN tarafından hazırlanan “Düşük Enerjili Optimum Güneş Evi Tasarımı” adlı tez çalışması 14/04/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç. Dr. Humar KAHRAMANLI ÖRNEK

.....

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Gül Nihal GÜĞÜL

.....

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Nagihan BİLİR SAĞ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. ÖMER FARUK YÜKSEL  
FBE Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

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

## **DECLARATION PAGE**

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

İmza

Iman Ahmed Nooruldeen NOORULDEEN

Tarih: 14/04/2023

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## DÜŞÜK ENERJİLİ OPTİMUM GÜNEŞ EVİ TASARIMI

Iman AHMED NOORULDEEN NOORULDEEN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gül Nihal GÜĞÜL  
2023, 57 Sayfa

### Jüri

Doç. Dr. Humar KAHRAMANLI ÖRNEK  
Dr. Öğr. Üyesi Gül Nihal GÜĞÜL  
Dr. Öğr. Üyesi Nagihan BİLİR SAĞ

Akıllı ev sistemleri, elektrikli aletlerin ve enerji sistemlerinin uzaktan izlenerek kontrol edilmesine olanak sağlayan iletişim ağları içerirler. Geçmişte, akıllı ev kavramı uzaktan manuel kontrole dayalı bir kavramdı. Yapay zekanın gelişmesiyle enerji tasarrufu elde etmek ve konfor seviyesini arttırmak amacı ile optimizasyon teknikleri içeren otomatik sistemler yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada müstakil bir konutun akıllı iklimlendirme sistemi ve sisteme entegre güneş enerjisi bulundurulması durumunun fizibilitesi gerçekleştirilmiştir. Konutta sıcaklık ve hareket sensörü kullanılarak iç ortamda ölçümler yapılmıştır. Bir fotovoltaik panelin elektrik üretim verisi kullanılarak radyasyon miktarı hesaplanmıştır. Dış ortama ait sıcaklık ve radyasyon verisi saatlik olarak Tipik Meteorolojik Yıllar (TMY) veri seti formatında internette temin edilmiştir. Bir ay süresince veri toplanmıştır. Temin edilen ve ölçülen veriler ile konutun iç ortam sıcaklığı, odalarda insan bulunma durumu, dış ortam radyasyon miktarı ve hava sıcaklığı verileri toplanmıştır. Yılın kalan ayları için hareket sensöründen elde edilen verilerin aynı olduğu varsayılmıştır. Doğrusal Olmayan programlama (Nonlinear programing) ile optimum panel açısı ve duvar ısı iletkenlik değerleri hesaplanmıştır. Bu tez çalışmasında, hareket sensörlerinden gelen verileri analiz ederek insan bulunmayan odaların sıcaklığını değiştiren akıllı bir iklimlendirme sisteminin enerji tasarruf potansiyelini hesaplanmıştır. Aynı zamanda bu sistemin enerji talebini karşılayacak optimum fotovoltaik panel sisteminin kapasitesi hesaplanmıştır. Evin iç ortam sıcaklığı kışın 22 °C, yazın 27°C'de tutulmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda, binanın optimum ısı iletkenlik değeri dış duvarı için 0.4 (W/m<sup>2</sup>K), pencere için 0.71 (W/m<sup>2</sup>K) olarak hesaplanmıştır. Bu durumda konutun iklimlendirme sisteminin elektrik tüketiminin 5.942'den (kwh/yıl) 2339'e (kwh/yıl) düştüğü görülmüştür. Optimum dış cephe ile yıllık elektrik tüketiminde % 61 tasarruf sağlanacağı görülmüştür. İnsan bulunmayan odaların sıcaklığının 2-4 °C arasında değiştirilmesine olanak sağlayan akıllı iklimlendirme sisteminin kullanılması ile % 11 - % 21 arası enerji tasarrufu yapılabileceği görülmüştür. Son olarak, iklimlendirme sisteminin yıllık elektrik tüketimini karşılayacak optimum fotovoltaik sistemin 3 kW kapasitesinde 35 derece eğimle güneşe yönelmiş olması gerektiği hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı ev, yapay zeka, ev otomasyonu, güneş enerjisi, optimizasyon

## ABSTRACT

## MS THESIS

### LOW ENERGY OPTIMUM SOLAR HOSE DESIGN

Iman AHMED NOORULDEEN NOORULDEEN

The Graduate School of Natural and Applied Science of Selçuk University  
The Degree of Master of Science in Computer Engineering

Advisor: Assist. Prof. Dr. Gül Nihal GÜĞÜL

2023, 57 Pages

#### Jury

Assoc. Prof. Dr. Humar KAHRAMANLI ÖRNEK

Assist. Prof. Dr. Gül Nihal GÜĞÜL

Assist. Prof. Dr. Nagihan BİLİR SAĞ

Smart home systems possess networks that connect electrical appliances and energy systems in order to allow them to be monitored and controlled remotely. Backward, the theme of smart home was based on remote manual control. With the development of artificial intelligence, automatic systems including optimization techniques have been build up to save energy and increase the comfort level. In this study, the feasibility of a solar energy integrated smart air conditioning system in a single detached house has been analyzed. Indoor measurements were performed using temperature and motion sensors in the house. The radiation value was calculated using the electricity generation data of a photovoltaic panel. Hourly temperature and radiation data of the outdoor environment are provided in Typical Meteorological Years (TMY) data set format from internet. Measured data were collected for one month. With the provided and measured data, the indoor temperature of the house, the presence of people in the rooms, the amount of outdoor radiation and air temperature data were collected. It is assumed that the data obtained from the motion sensor is the same for the remaining months of the year. Optimum panel angle and wall thermal conductivity value were calculated with nonlinear programming. In this thesis, the energy saving potential of a smart air conditioning system, which changes the temperature of manless rooms was obtained by analyzing the data gained from the motion sensors. Meanwhile, optimum photovoltaic panel system capacity to meet the energy demand of this system has been evaluated. The indoor temperature of the house is kept at 22 °C in winter and 27 °C in summer. As a result of this study, the optimum thermal conductivity value of the building was obtained as 0.4 (W/m<sup>2</sup>K) for the exterior walls and 0.71 (W/m<sup>2</sup>K) for the windows. In the present case, the electricity consumption of the air-conditioning system of the house is observed to decrease from 5.942 (kWh/year) to 2339 (kWh/year). Saving of 61% in annual electricity consumption is observed to be achieved with the optimum envelope. Smart air conditioning system that allows changing the temperature of the manless rooms between 2-4 °C, is observed to achieve energy saving between 11% and 21%. Finally, the optimum photovoltaic system that meets the annual electricity consumption of the air conditioning system is calculated to own 3 kW capacity directed to south with 35 degrees inclination angle.

**Keywords:** Artificial intelligence, home automation, internet of things, optimization, smart home, solar energy

## ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimim süresince bana rehberlik ederek değerli görüşlerini benden esirgemeyen, akademik çalışma hayatımda elinden geldiğince bana yardımcı olan, yol gösteren, her daim destekleyen ve kıymetli zamanları ile tecrübelerini esirgemeyen danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Gül Nihal GÜĞÜL'le sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ayrıca beni bu günlere getiren, her anımda arkamda duran bana hem annelik hem babalık yapan babam'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Iman Ahmed Nooruldeen NOORULDEEN  
KONYA-2023

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Ev Otomasyonun Avantajları.....	3
1.1.1. Enerji Tasarufu.....	3
1.1.2. Sağlık Hizmetleri .....	4
1.1.3. Düşük Maliyet.....	4
1.1.4. Konfor .....	5
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI VE TEZİN YAPISI</b> .....	<b>6</b>
2.1. Kaynak araştırması.....	6
2.2. Tezin Amaç ve Hedefleri .....	10
2.3. Tezin Kapsamı .....	11
2.4. Tezin Yapısı .....	11
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>12</b>
3.1. Konutun seçilmesi.....	12
3.2. İklimlendirme Amaçlı Enerji Tüketiminin Matematiksel Modellenmesi	12
3.3. Akıllı Evin Donanımı ve Devre Tasarımı .....	16
3.3.1. Arduino .....	17
3.3.2. Sensörler.....	18
3.3.3. DHT11 Sıcaklık Sensörü .....	18
3.3.4. PIR Hareket Sensörü.....	19
3.3.5. INA219 Akım Sensörü.....	20
3.3.6. Nokia 5110 LCD.....	21

3.3.7. DS3231 Gerçek Zamanlı Saat.....	21
3.3.8. Güneş pilleri.....	22
3.3.9. Devrede Kullanılan Elemanlar.....	24
3.4. Ekonomik analiz.....	27
3.5. Optimizasyon yöntemi.....	28
3.5.1 Diferansiyel Evrim Algoritması.....	29
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>32</b>
4.1. Hareket Sensöründen Elde Edilen Veriler.....	32
4.2. Farklı İç Ortam Sıcaklıkları İçin İklimlendirme Amaçlı Enerji Tüketimi.....	33
4.3. Akıllı Ev İçin sıcaklık Değişiminin Enerji Talebine Olan Etkisi.....	34
4.4. Optimum Bina Isı İletkenlik Değeri.....	35
4.5. Optimum Fotovoltaik sistem kapasitesi.....	35
4.6. Ekonomik analiz.....	40
<b>5. GENEL SONUÇLAR.....</b>	<b>41</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>42</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>46</b>



## KISALTMALAR

IOT	:	Nesnelerin İnterneti
NER	:	Adlandırılmış Varlık Tanıma
GWO	:	Gri Kurt Optimizasyonu
GRU	:	Geçitli Tekrarlayan Birim
PSO	:	Parçacık Sürü Optimizasyonu
HVAC	:	Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme
EYS	:	Enerji Yönetim sistemi
SoC	:	Çipte Veri Toplama Sistemi
BI	:	İş Zekâsı
SI	:	Sürü Zekası
ABC	:	Yapay Arı Kolonisi
İMA	:	İnsan Makine Arayüzü
MAPE	:	Ortalama Mutlak Yüzde Hatası
GSM	:	Mobil İletişim İçin Küresel Sistem
OSS	:	Açık Kaynak Kodlu Yazılım
DEA	:	Diferansiyel Evrim Algoritması
TMY	:	Tipik Meteorolojik Yıllar
LO	:	LiberOffice
TDF	:	Belge Vakfı
KKA	:	Karınca kolonisi algoritmasıyla
YA-AHS:		Yusufçuk Algoritması ve Analitik Hiyerarşi Süreci Yönteminin
Kombinasyon		
SMG	:	Akıllı Mikro Şebeke

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Literatürdeki çalışmaların kullanılan yöntemler ve elde edilen sonuçlar cinsinden kıyaslanması. ....	9
Çizelge 3.1. Isıtma ve Soğutma Talebinin Hesaplanmasında Kullanılan Denklemler. ....	13
Çizelge 3.2. Binanın Fiziksel Özellikleri. ....	14
Çizelge 4.1. Kış ve Yaz Aylarında Farklı İç Ortam Sıcaklıkları İçin Isıtma ve Soğutma Amaçlı Enerji Tüketimi, kWh/yıl.....	33
Çizelge 4.2. Sıcaklık değişiminin ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimine etkisi. ....	34
Çizelge 4.3. Binanın optimum ısı iletkenlik ve enerji tüketim değeri. ....	35
Çizelge 4.4. Hesaplamalarda kullanılan fotovoltaik panel ve akü. ....	36
Çizelge 4.5 Fotovoltaik sistemin üreteceği elektriğin talebi karşılama oranı ve sistem maliyeti. ....	38
Çizelge 4.6 Otonomi süresinin sistem performansı ve maliyetine etkisi. ....	39

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Ev otomasyonunun IoT'ye dayalı avantajları.....	3
Şekil 3.1 . Kerkük saatlik sıcaklık verisi.....	14
Şekil 3.2. Isıtma ve soğutma talebi hesaplama akış diyagramı.....	15
Şekil 3.3. Güneş enerjisi destekli evin elektrik hattı şeması.....	16
Şekil 3.4. Arduino mega 2560 kartı. ....	18
Şekil 3.5. DHT11 sıcaklık sensörü .....	19
Şekil 3.6. PIR Hareket sensörü. ....	20
Şekil 3.7. INA219 Akım Sensörü. ....	21
Şekil 3.8. Arduino uyumlu Nokia 5110 LCD 84x48 Modül. ....	21
Şekil 3.9. DS3231 Gerçek zamanlı saat. ....	22
Şekil 3.10. Güneş pilli. ....	22
Şekil 3.11. Devrede kullanılan Elemanlar. ....	25
Şekil 3.12. Devrede kullanılan Elemanlar. ....	26
Şekil 3.13 Libreoffice çözümleyici ekranı. ....	28
Şekil 3.14 Optimum ısı iletkenlik değerinin hesaplanması için akış diyagramı.....	30
Şekil 3.15 Optimum ısı iletkenlik değerinin hesaplanması için akış diyagramı.....	31
Şekil 4.1. Odalarda ortalama günlük insan bulunma durumu.....	32
Şekil 4.2. İç ortam sıcaklığının değiştirilmesinin ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimine olan etkisi.....	33
Şekil 4.3. Akıllı evde ısı değişikliğinin enerji tüketimine etkisi, kWh/yıl.....	34
Şekil 4.4. Evin iklimlendirme sisteminin (ısıtma+soğutma) saatlik enerji talebi, Wh. ....	36
Şekil 4.5. Kerkük iline ait günlük direkt ve difüz radyasyon. ....	37
Şekil 4.6. Kerkük iline ait zenit açısı. ....	37
Şekil 4.7. İklimlendirme sisteminin elektrik talebinin karşılanma durumu. ....	38
Şekil 4.8. Fotovoltaik paneller tarafından üretilen elektriğin iklimlendirme sistemi tarafından ve diğer evsel cihazlar tarafından kullanılan kısmı, kWh/gün.....	39
Şekil 4.9 Net bugünkü değerın yıllara göre değişimi. ....	40

## 1. GİRİŞ

Akıllı ev sistemleri, elektrikli aletleri ve enerji sistemlerini birbirine bağlayan ve bunların uzaktan izlenerek kontrol edilmesine olanak veren bir iletişim ağını içeren sistemlerdir. Önceleri akıllı ev kavramı uzaktan manuel kontrole dayalı bir kavramken, yapay zekanın gelişmesiyle birlikte enerji tasarrufu için optimizasyon teknikleri geliştirilmiş ve otomatik kontrole dayalı sistemler yapılmaya başlanmıştır.

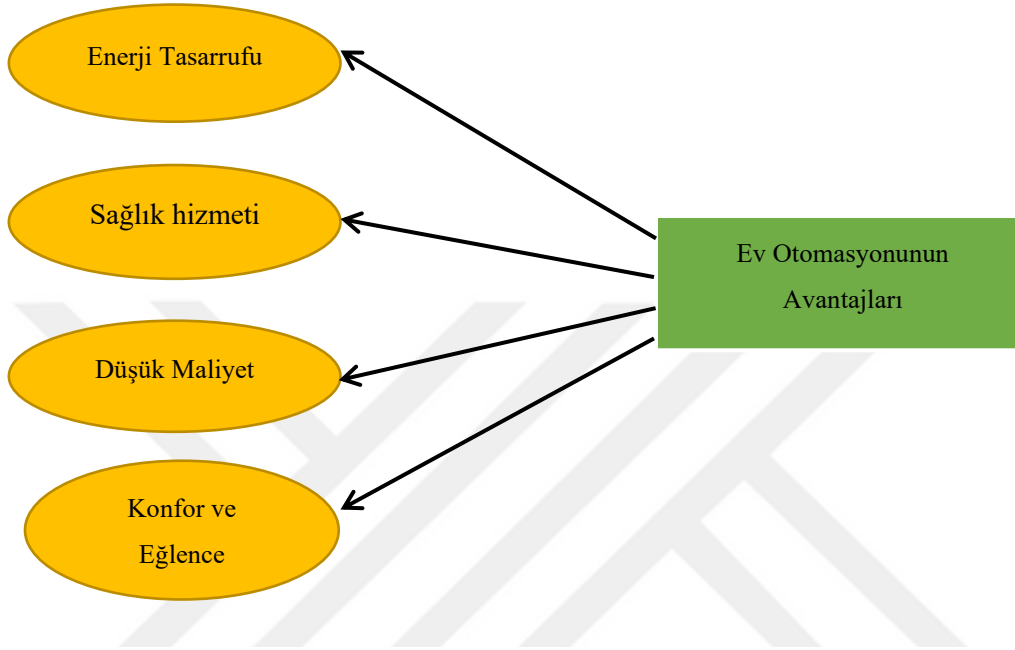
Akıllı evlerin en önemli avantajı cihazların uzaktan erişilebilir olması ve enerji tasarrufu sağlamasıdır. Akıllı evlerde yapay zekanın kullanılması ile sensörlerden toplanan veriler eğitilerek optimum enerji tüketim değerleri bulunur ve manuel kontrole gerek kalmadan otonom kontrol sağlanabilir. Yenilenebilir enerji sistemleri ise fosil bazlı olmayan kaynaklardan elektrik üretmek sera gazı salımını azaltır ve tüketim maliyetini düşürür.

Ev Otomasyonu (Akıllı Ev) kavramı, evlerimizde kullanılan sensörlerin (nem, sıcaklık, hava kalitesi v.s.) ve aydınlatma sistemleri, klima, evsel elektrikli cihaz gibi elektronik cihazların otomatik kontrol edilmesini ifade eder. Yeni bir husus olmayan Ev Otomasyonu (Akıllı Ev) kavramı, 1960'lı yıllarda bilgisayar tabanlı sistem üzerine kurulup geliştirilmiştir (Hendricks, 2014). Ev Otomasyonu ve Nesnelerin İnterneti (Internet of Things; IoT) konuları birbiriyle yakından ilişkili ve bağlantılıdır. Sensörlerin akıllı cihazlar (akıllı telefonlar, tabletler vb.) tarafından kontrol edilmesi ve izlenmesi mümkündür. Bu sistemlerin kolaylıkla internet üzerinden izlenebilmesi, dünya çapında genişletilebilmesine de imkân sağlamıştır. Akıllı telefonların IoT araçlarıyla birlikte artan popülaritesi, günümüz Ev Otomasyonu sistemlerini öne çıkaran önemli faktörlerden biri olarak kabul edilebilir (Bosomworth, 2015). Ev Otomasyonu cihazlarına sahip IoT öğeleri, bir modu (örneğin Otomatik Enerji Tasarrufu) etkinleştirerek veya kullanıcılara gerçek zamanlı olarak enerji tüketimi hakkında kısa ayrıntılar vererek enerji tüketimine yönelik optimizasyon sağlar. Geleneksel elektronik cihazların yerini IoT ürünlere bırakmasının maliyeti yüksek olabilir. Akıllı ev sistemlerine geçişteki temel sorunlardan birisi, IoT dışındaki öğelerin akıllı ev sistemi ile uyumlu hale getirilmesi ve uygun şekilde çalışmasının sağlanmasıdır (Brush ve ark., 2011). Nesnelerin İnternetine (IoT) dayalı akıllı ev teknolojisi ile yer ve zaman gözetmeksizin herkese erişim imkanı sunulmuş ve bu sayede insanların konfor seviyelerinde ve enerji maliyetlerinde önemli değişimler meydana getirilmiştir (Gaikwad ve ark., 2015; Samuel, 2016). Son zamanlarda daha da gelişme gösteren akıllı ev sistemleri, her türlü öğenin bilgi ve hizmetlerini değiştirmek

için çeşitli yöntemler ve protokoller sunmaktadır. Nesnelerin İnternetinin (IoT) bir alanı olan Ev Otomasyonu, aynı zamanda evlerde kullanılan sensör, elektronik cihaz, yazılım ve ağ bağlantısı sağlayan donanım elemanlarını da kapsar (Kim ve ark., 2015). Akıllı ev, binanın aydınlatma, nem ve sıcaklık algılama ve kontrol cihazları ile güvenlik sistemlerinin kurulduğu otomasyon sistemini ifade eder. Modern akıllı ev sistemleri, genellikle Ağ Geçitleri olarak adlandırılan merkezi birimlere bağlanabilen akıllı sensörler ve anahtarlardan oluşur. Ağ Geçitleri ile birlikte kullanıcı arayüzü, akıllı ev sistemlerini kontrol etmek için akıllı telefonlar, tabletler veya bilgisayarlar ile etkileşime girer, Nesnelerin İnterneti (IoT) tarafından kontrol edilir ve yönetilir (Galina ve ark., 2015). Akıllı ev teknikleri, ev halkının güvenliğini ve konforunu sağlayan özelliğe sahip, enerji açısından verimli, uzaktan kumandalı ve yüksek düzeyde ölçeklenebilir bir sistem sunar. Sistem, cihaz ve sensörlerden meydana gelen bir ev ağından oluşur. Merkezi bir kontrol ünitesi için bir projede bir Arduino (MEGA2560) mikrodenetleyici kullanılmıştır. Hem kablolu X10 hem de kablosuz Zigbee teknolojilerini birlikte kullanan bu akıllı ev ağı, bu sayede düşük maliyetli bir hibrit sistem yaratılmasına olanak sağlamıştır (Baraka ve ark., 2013). Bir sistem tasarlamak, donanım ve yazılım bileşenlerine dayanır ve evin güvenlik görevlisi olarak hareket edebilir. Yapılan bir çalışmada evdeki nem, sıcaklık, aydınlatma, gaz kaçağı, yangın ve hırsız alarmını izlemek için bir sistem tasarlanmış olup, güvenliği sağlamak üzere pasif kızılötesi sensörler kullanılmıştır. Eve izinsiz girenleri takip etmek veya açık unutulmuş kapı-pencereleri kapatmak için sensörler kullanılmıştır. Ayrıca sistem GSM sistemine (Mobil İletişim İçin Küresel Sistem) bağlanarak “sistem aktif” modundayken sensörlerden bir şey algılanması durumunda belirli hedeflere bildirim SMS mesajları (Kısa Mesaj Servisi) gönderilmektedir. Sistem, yani eve yönelik tasarımın donanımı da Bluetooth üzerinden bir Android uygulaması vasıtasıyla kontrol edilmiştir (Hadi Al-Samarraei, 2018).

## 1.1. Ev Otomasyonunun Avantajları

Bu bölümde, Ev Otomasyon sistemlerin sağladığı avantajlara göre gruplara ayrılmış ve incelenmiştir (Bkz. Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Ev otomasyonunun IoT'ye dayalı avantajları

### 1.1.1. Enerji Tasarrufu

Enerji tasarrufu, ev otomasyonunun en önemli özelliklerinden biri olarak kabul edilir. Akıllı evlerde kullanılan Nesnelerin İnterneti (IoT) öğeleri, enerji ve kontrol sistemlerinde yaşanan kaybı azaltmaya yönelik ileri teknoloji sağlamak için kullanılmaktadır. Bu öğeler, enerji tasarrufu sırasında verimliliği artırır ve güç faktörünü iyileştirir (Jiang ve ark., 2016). Örneğin, akıllı evdeki otomatik ışık kontrolü sayesinde ışıkların otomatik şekilde açılıp kapanması sağlanır (Lee ve ark., 2014). Güneşin doğması ile cihazların açılması sağlanabilir. Gün batımından sonra cihazların bekleme modu etkinleştirilebilir ve cihazlar otomatik olarak kapatılabilir. Neticede, bu işlem sayesinde enerji tüketimi azaltılmış olur (Huang ve ark., 2014). Akıllı evlerdeki Nesnelerin İnterneti (IoT) öğelerinin bir parçası olan akıllı sisteme dahil olan aydınlatma sistemleri, kişi odaya veya eve girip çıktığı zaman otomatik olarak açılıp kapanabilir ve bu sayede asgari tüketim yapılmış olur ve enerji tasarrufu sağlanmış olur (Tian ve ark., 2015). Enerji tasarrufu, enerji krizinin yaşandığı günümüz dünyasının en önemli hususlarından biri

haline gelmiştir. Evlerin içinde veya dışında sıcaklık dereceleri sürekli değişmekte, bu yüzden konforlu sıcaklık seviyelerini sağlamak için enerji sarfiyatında belirli zamanlarda artışlar yaşanabilmektedir. Örneğin klimalar, ev içindeki ortam sıcaklığına göre ayarlanabilmekte ve yapılan ayarlar sayesinde minimum enerji sarfiyatı ile ortamın konforu sağlanmaktadır (Chen ve ark., 2014).

### 1.1.2. Sağlık Hizmetleri

Akıllı ev uygulamaları sayesinde yaşlılar ve engelliler için evde bakım hizmetlerinden elde edilen faydalar da artış göstermiştir. Akıllı ev sistemleriyle, söz konusu bireylerin sağlığına dikkat etmek ve yalnızlık hissini ortadan kaldırmak mümkün olmaktadır. İtalya'nın kuzey batı bölgesinde, yaşlı insanlara uygun, sağlık hizmetlerinin ön planda tutulduğu ve konforlu yaşam olanaklarının sağlandığı, akıllı ev sistemlerine dayalı bir şehir kurulmuştur (Bing ve ark., 2011). Akıllı evlerde yaşlıların ve engellilerin robotik cihazlarla sağlıklı ve uzun bir yaşama ulaşmalarına yardımcı olunmakta ve söz konusu insanlar bu konuda desteklenmektedir. Akıllı evler aynı zamanda acil klinik sağlık hizmetini desteklemekte ve insanların sağlığını uzaktan takip ederek tıbbi hizmetlere ulaşmalarını kolaylaştırmaktadır. Akıllı sistemler sayesinde yaşlıların ihtiyaçları, insanların herhangi bir müdahalesi olmaksızın karşılanabilmektedir. Ayrıca yaşlıların reçeteli ilaçlarını zamanında alıp almadıkları, kendilerine verilen tedavi takvimlerine riayet edip etmedikleri de kontrol edilebilmektedir (Zanjal ve Talmale, 2016). Japonya ve Çin gibi uzak doğu ülkelerinde ya da batı medeniyetlerinde yaşlı ebeveynler genellikle çocuklarıyla birlikte yaşarlar. Ancak bu ebeveynlerin bakımı her zaman mümkün olmayabilir. Mobil akıllı ev uygulamaları, kendisine bakacak kimsesi olmayan yaşlı ebeveynler için gerekli yardımın sağlanması ve onlara da iyi bir yaşamın sunulmasını mümkün hale getirebilir. Kapalı devre sistemleri, akıllı ev teknolojisi aracılığıyla sağlık personeli tarafından ev içindeki ortamın izlenmesini sağlar (Zhang ve ark., 2012).

### 1.1.3. Düşük Maliyet

Akıllı bir evde, kullanıcıların temel ihtiyaçları karşılanırken, maliyet bakımından tasarruf etmesini sağlamak için birçok cihaz kullanılmaktadır. Yaşlıların ve engellilerin sağlık hizmetlerine erişimi bu sayede artmıştır. Uzaktan sağlık takibi sayesinde sağlık hizmetinde de maliyeti düşüren neticeler elde edilmektedir. Genellikle kliniklerde ve

hastanelerde bulunmayan akıllı bir sistem maliyeti düşürebilir ve tıbbi hizmetlere erişimi daha da artırabilir. Akıllı bir evde, maliyeti düşürmek, akıcılığı ve esnekliği artırmak için kablolu ağ yerine kablosuz ağ teknolojisi tercih edilmektedir. Enerji tasarrufu maliyeti düşürürken, güvenlik sistemi tarafından enerji tasarrufu sağlayan herhangi bir cihazın arızalanmasının da önüne geçilebilmektedir (Trincherro ve ark., 2011; Moser ve ark., 2014). Akıllı evlerdeki IoT cihazlarının sağlık ağlarına bağlanmasıyla, yaşlı veya engellilerin doktora gitme sıklığı da düşmüş olacak ve bu sayede hastane masraflarının da azalması sağlanacaktır (Shamszaman ve ark., 2014).

#### 1.1.4. Konfor

Akıllı ev, kullanıcılara konforlu bir yaşam sunarken, onların güvende olmasını da sağlar. Akıllı ev sistemindeki tüm cihazlar istenildiği zaman çalıştırılabilir (Madakam ve Ramaswamy, 2014). Bu cihazlara sensörler bağlanır ve her sensörün IoT teknolojisine dayalı kablosuz bağlantıyla farklı bir işlevi vardır (Bhide ve Wagh, 2015). Örneğin, akıllı ev içerisinde kullanılan cihazlar, kullanıcı evden dışarı çıktığında otomatik olarak kapanabilmektedir. Ayrıca kullanıcılar akıllı ev ile faturalarını rahatlıkla ödeyebilmektedir. Mobil cihazlar üzerinden kontrol edilebilen akıllı evler, cihazların uzaktan açılıp kapatılması sayesinde kullanıcılar için uygun çözümler sunmaktadır (Pandey ve ark., 2015).



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI VE TEZİN YAPISI

Bu bölümde ilk olarak akıllı ev tasarımı ve enerji optimizasyonu ile ilgili son yıllarda yapılan bazı çalışmalara yer verilmiştir. Daha sonra tezin amaç ve hedefleri, kapsamı ve yapısı açıklanmıştır.

### 2.1. Kaynak araştırması

Akıllı evlerin sağladığı avantajlardan dolayı son yıllarda bu alanda birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda genellikle doğrusal olmayan programlama yöntemleri tercih edilmiştir. Belirli bir amaç fonksiyonunu verilen kısıtlamalar altında optimize eden bir çözüm bulmak için gerçek optimizasyon problemleri genellikle doğrusal olmayan programlama problemleri olarak formüle edilir. Hem amaç fonksiyonu hem de kısıtlı bölge dışbükey ise, problem, dışbükey programlama problemi olarak adlandırılır. Dışbükey programlama problemleri (Convex programming problems) için, sıralı ikinci dereceden programlama yöntemi, genelleştirilmiş indirgenmiş gradyan yöntemi ve benzeri verimli optimizasyon yöntemleri önerilmiştir (Matsui ve ark., 2008). Doğrusal olmayan bir optimizasyon çerçevesi, yani “Karma-Tam Sayılı Doğrusal Olmayan Programlama”nın önerildiği bir çalışmada lineer yaklaşımda uygulanabilir olmayan, bina termal modelinin dayattığı kısıtlamalar ile başa çıkmaya çalışılmıştır. Gerçekçi bir ev senaryosu ile ilgili gerçekleştirilen bilgisayar simülasyonları, kullanıcının termal gereksinimlerinin karşılanması açısından belirli bir iyileştirmenin elde edilebileceğini ve aynı zamanda optimize edilmemiş stratejiye göre önemli ölçüde enerji maliyeti düşüşü elde edildiğini göstermiştir (Marco ve ark., 2014). Bir çalışmada, akıllı bir ev uygulamasında enerji maliyetini en aza indirmek için elektrik aktivitelerinin programlanması tekniği önerilmiştir. Yaklaşım, yeni ve gerçekçi, doğrusal olmayan bir enerji fiyatlandırması ve kontrol edilebilir cihazların kullanımının maliyet-optimum planlamasının formüle edilmesine, yenilenebilir enerji üreticilerinden enerji üretimi, yardımcı uygulamalar vasıtasıyla enerji temini ve depolama cihazlarının şarj/deşarjının hesaba katıldığı karma tam sayılı ikinci dereceden bir programlama optimizasyon modeline dayanmıştır. Tekniğin etkinliği, birkaç senaryo altında simüle edilmiş bir vaka çalışmasına uygulanması ile gösterilmiştir (Carli ve Dotoli, 2014).

ZigBee ağı kullanan bir akıllı ev kontrol sisteminin önerildiği bir çalışmada elektronik aletlere bağlı sensörler ve ışık sensörleri kullanarak uzaktan kumanda edilen bir akıllı ev sistemi tasarlanmıştır (Khan ve ark., 2016). Enerji verimliliği sağlamayı

hedefleyen IoT tabanlı akıllı ev sisteminin tasarlandığı bir çalışmada ise güvenlik sisteminin bir parçası olarak güvenlik kameralı hareket sensörü kullanılmıştır. Bu çalışmada hareket sensöründen alınan veriler kullanılarak aydınlatma ve iklimlendirme sistemlerinin kontrolü analiz edilmiştir (Salman ve ark., 2016). Yine enerji verimliliğini hedefleyen bir çalışmada NodeMCU ve Android tabanlı bir akıllı enerji yönetim sistemi tasarlanmıştır. Bu çalışmada anlık enerji tüketim verisi ve süresi ölçülerek depolanmıştır. Böylece enerji maliyetlerinin düşük olduğu saatlerde elektrikli cihazların kullanımının artırılması ile tasarruf elde edilmesi hedeflenmiştir (Tastan, 2019). Yaşlı insanlar için siber-fiziksel sistemlere dayalı bir akıllı ev sisteminin tasarlandığı bir çalışmada ise ses veya el hareketleriyle komut vermeye olanak sağlanmıştır (Hossain ve ark., 2017). Enerji Yönetim Sistemine dayalı bir başka akıllı ev modelinde IP adresine sahip cihazların kablosuz ağa bağlanarak IoT üzerinden verilerinin toplanması durumu incelenmiştir. Bu çalışmada, enerji tüketimini daha iyi yönetmek ve tüketici talebini karşılamak için İş Zekası ve Büyük Veri analitiği yazılım paketlerini kullanılmıştır. bu çalışmada oluşturulan prototip laboratuvar ortamında test edilmiştir (Al-Ali ve ark., 2017). İnsan merkezli bir akıllı ev enerji yönetim sisteminin önerildiği bir çalışmada sistemin güç kullanım modelini oluşturmak ve insan davranışlarını bilişsel olarak anlamak için bir sistem tasarlanmıştır. Bu çalışmada kullanıcıların elektrik enerjisi talepleri dinamik olarak oluşturulmuş ve taleplere cevap vermek için ev enerji sisteminin en uygun zamanlama çizelgesi geliştirilmiştir. Bu sistem, yalnızca elektrik maliyetinden tasarruf etmeyi veya azami yükü azaltmayı değil, aynı zamanda kullanıcıların taleplerini tahmin etmeyi ve yönetmeyi hedeflemiştir (Chen ve ark., 2017).

Akıllı ev otomasyonunun geliştirildiği bir başka çalışmada ise kendini geliştirebilen düşük maliyetli bir akıllı ev sistemi oluşturulmuştur. Önerilen akıllı ev sistemi, giyilebilir algılama modülü, çok sensörlü devre modülü, bilgi işleme modülü, karar verme modülü, akıllı izleme arayüzü ve elektrikli ev aletlerinden oluşmaktadır. Çok sensörlü devre modülü, evin güvenliği ve yangın algılama için CO ve sıcaklık sensörlerini entegre etmiştir. Bu çalışmada tasarlanan sistem deneysel olarak doğrulanmıştır (Hsu ve ark., 2017). Özgün bir akıllı ev modellemesinin yapıldığı bir çalışmada en düşük maliyet ile en yüksek kullanıcı memnuniyetini sağlayan bir enerji yönetim sistemi geliştirilmiştir. Bu çalışmada enerji tasarrufu sağlamak için Genetik Algoritma ile optimizasyon sağlamıştır (Gonçalves ve ark., 2019). Konutlarda elektrik enerjisi tüketimini azaltmayı hedefleyen akıllı ev sistemi IntelliHome'un tanıtıldığı bir çalışmada, IntelliHome'un kullanıcıları enerji tasarrufu sürecine aktif olarak dahil etmek için büyük veri analitiği

teknolojilerini, makine öğrenimi ve istatistiksel teknikleri kullandığını belirtilmiştir (Paredes-Valverde ve ark., 2020). Sürü zekası (SI) kavramını sisteme bağlı cihazlara uygulayarak Nesnelerin İnterneti uygulamaları için bir hesaplamalı zeka modelinin önerildiği bir çalışmada, akıllı ev enerji yönetim sistemi elektrik fiyatlarını optimize etmek için kullanılmıştır (Bui ve ark., 2020). Çok amaçlı yusufçuk algoritması ve analitik hiyerarşi süreci yönteminin kombinasyon (YA-AHS) algoritmasıyla optimizasyon şemasının önerildiği bir çalışmada yenilenebilir enerji sistemleri de kullanılmıştır (Alilou ve ark., 2020). Enerji verimliliğini hedefleyen akıllı ev çalışmalarından farklı olarak, yapılan bir çalışmada akıllı evlerde kullanılmak üzere geliştirilen yapay zeka algoritmalarını test etmek için gerçek ve sanal akıllı evleri birlikte çalıştıran hibrit bir akıllı ev simülasyonu geliştirilmiştir (Bicakci ve ark., 2020). Elektromanyetik enerji kullanan IoT tabanlı yeni bir akıllı ev platformunun önerildiği bir çalışmada akülerin ömrünü uzatmak için yüksek kazançlı bir anten dizisi ve verimli dairesel polarize dizi anten sistemi kullanılmıştır. Optimize edilmiş enerji tüketimi, Zigbee protokolünü benimseyen yazılım ve enerji tüketimini azaltmak için düşük güçlü bir mikrodenetleyici kullanılmıştır. Bu çalışmada, optimizasyon için geçitli tekrarlayan birim (GRU), gri kurt optimizasyonu (GWO) algoritması ve bulanık mantık kullanmıştır (Eltresy ve ark., 2020). Akıllı bir ev modelinin geliştirildiği bir diğer çalışmada sinir ağı tabanlı bir algoritma uygulayan gelişmiş bir akıllı ev denetleyicisinin prototipini geliştirilmiştir. Önerilen sistemde, sinir ağı yöntemi olarak ADALINE'in (adaptif lineer) uygulanması kullanılmıştır (Siswipraptini ve ark., 2020). Konutların aydınlatma yüklerini ve iklimlendirme sistemlerini yönetmek için yapay zeka yöntemlerinin ve nesnelerin interneti kavramlarının kullanıldığı bir çalışmada bulanık mantık ve makine öğrenmesiyle optimizasyon sağlayan bir akıllı ev sistemi önerilmiştir (Souza ve ark., 2020). Çok katmanlı bir akıllı ev enerji yönetim sisteminin tasarlandığı bir çalışmada, insan makine arayüzü, merkezi denetleyicidir ve yük katmanından oluşan bir model geliştirilmiştir ve optimum çizelgeleme modeli oluşturulmuştur. Kullanıcıların ihtiyaçlarının karşılamasını sağlayan modeli çözmek için uyum arama algoritması ve parçacık sürüsü optimizasyon algoritmasının füzyon algoritması kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, yük eğrisinin etkili bir şekilde iyileştirildiğini ve elektrik maliyetinin azaldığını göstermiştir (Zhang ve ark., 2020).

Yapılan literatür taraması kullanılan yöntemler ve elde edilen sonuçlar cinsinden Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Literatürdeki çalışmaların kullanılan yöntemler ve elde edilen sonuçlar cinsinden kıyaslanması.

Yazarlar	Veri depolama alanı	Kullanılan sensörler	Veri iletişim sistemi	Yenilenebilir sistem	Optimizasyon	Dikkate alınan değişkenler
Khan, M. vd. (2016)	Bilgi yok	Hareket, sıcaklık	Wifi, Zigbee Protokolü	-	-	--
Salman L. vd., (2016)	Bilgi yok	Hareket, sıcaklık	Zigbee Protokolü	-	-	--
Al-Ali, A.R. vd. (2017)	Merkezi veri depolama	Sıcaklık, nem, akım	MQTT Protokolü	-	İş zekâsı ve Büyük Veri analitiği	Güç tüketimi, sensör verileri
Chen, S. vd. (2017)	Özel Server, veritabanı	Hareket, GPS ve biyosensörler	Wi-Fi, Bluetooth	-	NER, Yapay zeka ve Derin öğrenme	Maliyet ve sensör verileri.
Shamim Hossain, M. vd. (2017)	Amazon S3	Hareket, görüntü, ses, fiziksel	-	-	-	--
Hsu, Y-L.. vd. (2017)	Bilgi yok	CO ve sıcaklık, hareket	RF Kablosuz alıcı verici	-	Olasılıklı sinir ağı (PNN)	Sensör verileri
Gonçalves, I. vd. (2019)	Bilgi yok	-	-	-	Genetik algoritma	Elektrik ücreti, güç tüketimi
Tastan M., (2019)	Blynk Cloud	Akım ve gerilim sensörü	NodeMCU kontrolör	-	-	--
Mario A. Paredes-Valverde vd., (2019)	Apache Hadoop	Sıcaklık, nem, ışık, hareket sensörü	ZigBee	-	Machine Learning, Big Data Analytics	Sensör verileri, kullanıcı davranışları
Bui, Khac-Hoai N. vd. (2020)	-	-	IoT	-	Sürü zekâsı yaklaşımı	Elektrik ücreti, akıllı cihaz verileri
Alilou, M. vd. (2020)	SMG sunucusu	-	-	Mevcut	YA-AHS	Ücret, PV, ışık, güç
Bicakci, S. ve Güneş, H. (2020)	Apache Server	Sıcaklık, nem, ışık sensörü, elektriği ölçen sensör.	MQTT Protokolü, Bluetooth	-	KKA	Kullanıcı ve sensör verileri
Eltresy, N. A. vd. (2020)	Raspberry Server	Sıcaklık ve nem, ortam ışığı, CO <sub>2</sub> , hareket sensörleri	Bluetooth, Zigbee Protokolü	-	GRU, GWO, bulanık mantık	Sensör verileri
Siswipraptini P. C vd., (2020)	Apache WebServer, Raspberry Server	Sıcaklık, su ve LDR sensörleri	Wi-Fi	-	Yapay Sinir Ağları	Sensör verileri

Souza A. T vd., (2020)	Bulut	Sıcaklık, nem ve ışık sensörleri	MQTT Protokolü	-	Bulanık Mantık, Makine Öğrenmesi	Sensör verileri, ücret, elektrik üretimi
Zhang vd., (2020)	Bilgi yok	Sıcaklık sensörü	Akıllı Sayaç	-	Uyum Arama Algoritması ve PSO Füzyon Algoritması	Ortam değişkenleri, ücret, kullanıcı verileri

Konuyla ilgili literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; son yıllarda yapay zeka ile optimizasyon sağlayan akıllı ev çalışmalarının yoğunlaştığı görülmektedir. Manuel kontrol insan kararına ve aksiyonuna bağlı olduğu için enerji tasarrufu sağlamakta yetersiz kalmaktadır. Ayrıca literatürde yenilenebilir enerji sistemleri ile ilgili çalışmaların azlığı dikkat çekmektedir. Hem yenilenebilir enerji sistemi kullanan hem de sıcaklık ve hareket sensörlerinden gelen verileri analiz ederek doğrusal olmayan programlama ile optimizasyon yapan bir çalışmanın olmadığı görülmektedir. Bu tez çalışması ile literatürdeki bu boşluğun doldurulması hedeflenmiştir.

## 2.2. Tezin Amaç ve Hedefleri

Bu tez çalışmasında konut amaçlı kullanılmakta olan bir müstakil evde sıcaklık ve hareket sensörü kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Bir fotovoltaiik panelin elektrik üretim verisi kullanılarak radyasyon miktarı hesaplanmıştır. Tez çalışmasının amacı, sensörlerden gelen verileri analiz ederek iklimlendirme sistemini yönlendirmektir. Sıcaklık verisi ile konutun iç ortam sıcaklığı bilgisi elde edilmiştir. Hareket sensörü ile odalarda insanların bulunma yoğunluğu verisi analiz edilerek odaların termostatlarının sıcaklık değeri kontrol edilmiştir.

Bu bağlamda çalışmanın ana amaçları aşağıdaki gibi listelenebilir:

- İklimlendirme sisteminin enerji tüketimini en düşük seviyeye indirmek.
- İklimlendirme sisteminin enerji talebini karşılayacak optimum fotovoltaiik sistem kapasitesini belirlemek.

Bu bağlamda çalışmanın alt amaçları aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Müstakil bir evde sıcaklık ve hareket sensörü kullanılarak veri temin etmek.

- Fotovoltaik panelin elektrik üretim verisini temin etmek ve radyasyon miktarını hesaplamak.
- Optimizasyon algoritmasını oluşturmak.
- İklimlendirme sisteminin çalışma koşullarını belirlemek.

### 2.3. Tezin Kapsamı

Bu tez çalışmasında Kerkük'te bulunan müstakil bir konut model olarak seçilmiştir. Modellenmiş konutta soğutma ve ısıtma amaçlı klima kullanılmaktadır. Konutta bir ay süresince dış ortamda fotovoltaik panel, iç ortamda ise sıcaklık ve hareket sensörü kullanılarak veri temin edilmiştir. Hareket sensörü ile elde edilen verilerin yılın kalan aylarında aynı olduğu varsayılmıştır. Sıcaklık ve radyasyon verisi ise saatlik olarak Tipik Meteorolojik Yıllar (TMY) veri seti formatında internetten temin edilmiştir (Crawley ve Lawrie, 2019).

Konutun bahçesine kurulan bir adet fotovoltaik panelin elektrik üretim verisini temin edilerek, bu veri ile anlık radyasyon miktarı hesaplanmıştır. Konutun ısıtma/soğutma talebinin belirlenmesi amacıyla matematiksel modelleme gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu model üzerinde enerji tüketimini azaltmak amacı ile farklı senaryolar uygulanmıştır. Ölçülen veri ile internetten elde edilen (TMY) datası kıyaslanıp TMY datasının güvenilirliği test edilmiştir.

### 2.4. Tezin Yapısı

Çalışmanın ilk bölümünde konu ile ilgili genel bilgi verilmiştir. İkinci bölümde ilk olarak literatür araştırması verilmiş devamında ise mevcut sorun, çalışmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, çalışmada modelin oluşturulması, modele senaryoların uygulanması ve optimizasyon yapılması sırasında kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Dördüncü bölümde ise çalışmanın sonuçları verilmiştir. Son bölümde ise çalışmanın genel sonuçları ve öneriler kısmı yer almaktadır.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde tasarlanan akıllı evin donanımı ve yazılımı hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

#### 3.1. Konutun seçilmesi

Bu çalışmada seçilen konutta 2 kişi ikamet etmektedir. Konut yalıtım bulundurmamaktadır. Konut yaklaşık 100 m<sup>2</sup> alana sahiptir ve tam müstakildir. Konut ısıtma ve soğutma amaçlı enerji ihtiyacının yüksek olduğu Kerkük ilinde bulunmaktadır. Aynı zamanda bu ilde sıklıkla elektrik kesintisi yaşanması sebebi ile tasarlanan iklimlendirme sisteminin enerji ihtiyacını karşılayan fotovoltaik sistemin akü ile desteklenmesi öngörülmüştür.

#### 3.2. İklimlendirme Amaçlı Enerji Tüketiminin Matematiksel Modellenmesi

Konutun ısıtma ve soğutma amaçlı enerji talebi saatlik olarak kış ve yaz ayları için ayrı ayrı Çizelge 3.1.'de yer alan eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Kerkük ilinde ısıtma sistemi 1 Kasım - 30 Nisan, soğutma sistemi 1 Haziran – 30 Eylül tarihleri arasında kullanılmaktadır. Öncelikle Çizelge 3.2.'de yer alan binanın dış cephe elemanlarının ısı iletkenlik değeri ve yüzey alanı verisi temin edilmiştir. Daha sonra eşitlik 3.2, 3.3 ve 3.4 kullanılarak konveksiyon ve iletim yolu ile kışın ısı kaybı yazın ısı kazancı değerleri her saat için hesaplanmıştır. Güneşten gelen ısı kazancı eşitlik 3.5 ile hesaplanmıştır. İnsanlardan ve elektrikli cihazlardan kaynaklanan ısı kazancı ihmal edilmiştir. Eşitlik 3.2-3.5 arasında elde edilen veriler kullanılarak eşitlik 3.1 ile kış dönemi için özgül ısı kaybı, yaz dönemi için ise özgül ısı kazancı hesaplanmıştır.

COP (Coefficient of performance), ısı pompalarının performansının en sık kullanılan ölçüsüdür. (arma.org.au, 2017). Bu çalışmada modellenen konutun en yüksek ısıtma talebi 11 kW, soğutma talebi 15 kW olarak hesaplanmıştır. Bu sebeple bu çalışmada Baymak IO-MM 160 P hava kaynaklı inverter ısı pompası seçilmiştir (baymak, 2023).

Seçilen cihazın COP değeri ısıtma için  $COP_{is}$  4,49, soğutma için  $COP_{soğ}$  4,2'dir.

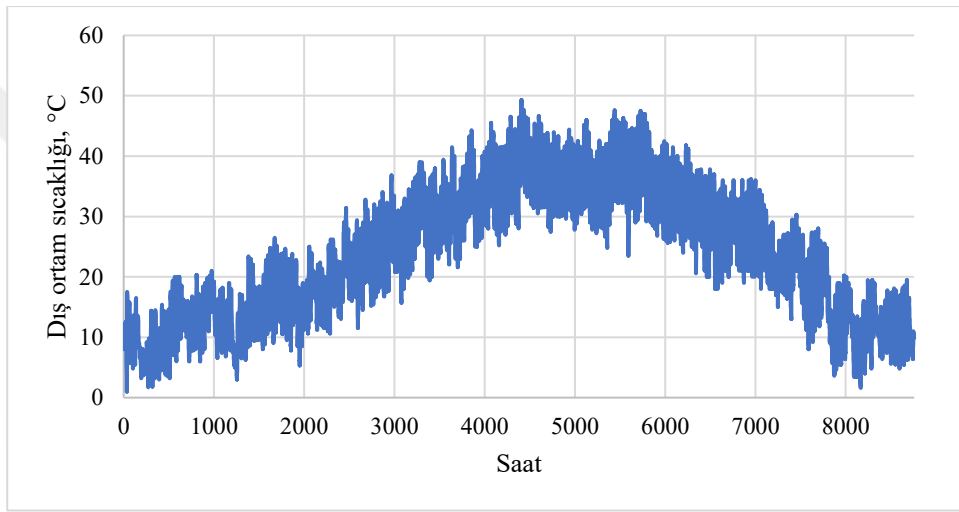
Çizelge 3.1. Isıtma ve Soğutma Talebinin Hesaplanmasında Kullanılan Denklemler.

Açıklama	Denklemler	Kısaltmalar
Binanın özgül ısı kaybı (H), (Turkish Standard, 2013)	$H = H_k + H_c$ (3.1)	$H_k$ : Konveksiyon ile ısı kaybı, W/K $H_c$ : İletim ile ısı kaybı, W/K
Konveksiyon ile ısı kaybı	$H_k = \sum_{i=1}^n (A_i \times U_i)$ (3.2)	$U$ : Dış cephe konvektif ısı iletkenlik katsayısı (İİK), W/m <sup>2</sup> K $A_i$ : Dış cephe elemanı alanı, m <sup>2</sup> $i$ : Dış cephe elemanı
	$H_c = \sum_{i=1}^n (A_i \times U_i) + I_i \times U_{l,i}$ (3.3)	$U_{ow}$ : Dış duvarın İİK, W/m <sup>2</sup> K $U_w$ : Pencere İİK, W/m <sup>2</sup> K $U_{od}$ : Dış kapının İİK, W/m <sup>2</sup> K, $U_c$ : Tavanın İİK, W/m <sup>2</sup> K, $U_b$ : Bodrumun İİK, W/m <sup>2</sup> K, $U_{ba}$ : Dış havaya temas eden zeminin İİK, W/m <sup>2</sup> K, $U_{it}$ : İç ortamlara temas eden yapı elemanlarının İİK, W/m <sup>2</sup> K, $U_l$ : Isı köprüsünün doğrusal geçirgenliği, W/mK
İletim yoluyla ısı kaybı, (Turkish Standard, 2013)	$\sum_{i=1}^n (A_i \times U_i) = U_{ow} \times A_{ow} + U_w \times A_w + U_{od} \times A_{od} + 0,8 \times U_c \times A_c + 0,5 \times U_b \times A_b + U_{ba} \times A_{ba} + 0,5 \times U_{it} \times A_{it}$ (3.4)	$A_{ow}$ : Dış duvar alanı, m <sup>2</sup> $A_w$ : Pencere alanı, m <sup>2</sup> $A_{od}$ : Dış kapı alanı, m <sup>2</sup> $A_c$ : Tavan alanı, m <sup>2</sup> $A_b$ : Toprağa oturan bodrum alanı, m <sup>2</sup> $A_{ba}$ : Dış mekân ile temas halinde bodrum alanı, m <sup>2</sup> $A_{it}$ : Düşük sıcaklıklarda iç ortam ile temas eden iç duvar alanı, m <sup>2</sup> $l$ : Isı köprüsü uzunluğu, m $n$ : Dış cephe elemanı sayısı $i$ : Dış cephe elemanı
Güneşten gelen ısı kazancı	$IK_{g,j} = \sum_{y=1}^4 (r_{i,y} \times g_{i,y} \times I_{i,y} \times A_{i,y})$ (3.5)	$IK_g$ : Güneşten gelen anlık ısı kazancı, W $r_{i,y}$ : “y” yönünde saydam yüzeylerin gölgelenme faktörü, $g_{i,y}$ : “y” yönünde saydam elemanların geçirme faktörü, $I_{i,y}$ : “y” yönünde dik yüzeylerde güneş ışınımı şiddeti, W/m <sup>2</sup> $A_{i,y}$ : “y” yönündeki toplam pencere alanı, m <sup>2</sup> $y$ : Yön



Binanın Isıtma/ Soğutma amaçlı elektrik tüketimi	$P_H = \sum_{i=1}^{8760} (H \times ((\Theta_i - \Theta_o)) / (COP_{is} * 1000))$	(3.6)	$P_{H/C}$ : Binanın ısıtma/soğutma amaçlı elektrik tüketimi, kWh/yıl
	$P_C = \sum_{i=1}^{8760} (H \times ((\Theta_o - \Theta_i)) / (COP_{soğ} * 1000))$		$H$ : Isı kaybı/kazancı, W/°C $\Theta_i$ : İç sıcaklık, °C $\Theta_o$ : Dış sıcaklık, °C $COP_{is}$ : Isıtma için cihazın COP değeri $COP_{soğ}$ : Soğutma için cihazın COP değeri

Sıcaklık verisi saatlik olarak Tipik Meteorolojik Yıllar (TMY) veri seti formatında internetten temin edilmiştir (Crawleu ve Lawrie, 2019). Temin edilen Kerkük iline ait saatlik sıcaklık verisi Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kerkük saatlik sıcaklık verisi

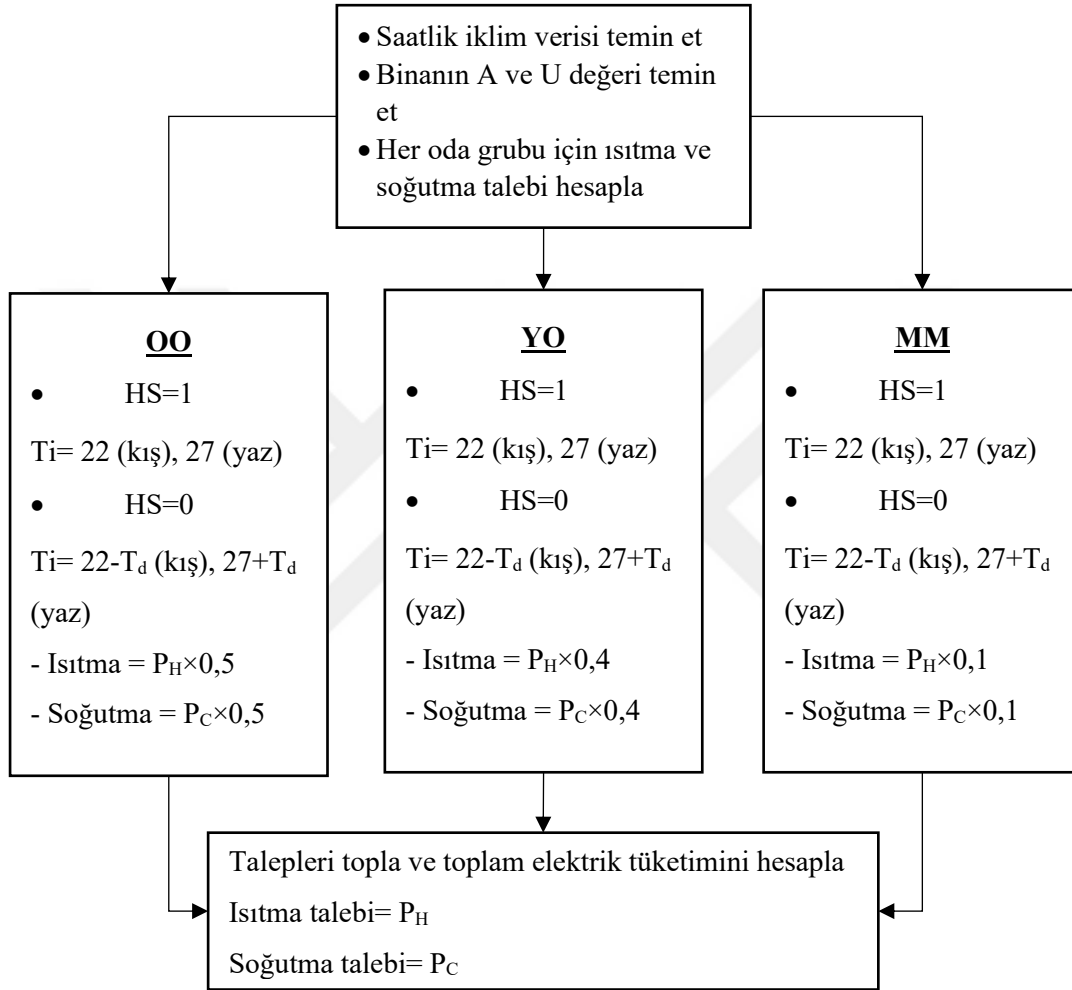
Konutun fiziksel özellikleri çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Binanın Fiziksel Özellikleri

Açıklama	Sahip olunan değer
Dış duvar U değeri, W/ m <sup>2</sup> K	1,2
Pencere U değeri, W/ m <sup>2</sup> K	1
Dış duvar alanı, m <sup>2</sup>	300
Pencere alanı, m <sup>2</sup>	20

Konutta odalardaki hareket sensörleri ile elde edilen veriler doğrultusunda odalarda insan bulunma verisi temin edilmiştir. Enerji tasarruf potansiyeli hesaplanan akıllı iklimlendirme sistemi anlık hareket sensörlerinden (HS) gelen verileri analiz edip, iklimlendirme sistemini yönlendiren bir sistemdir. Odada kişi sayısına bakılmaksızın, 1 kişi dahi olsa iklimlendirme sistemi istenilen sıcaklıkta çalışacak şekilde ayarlanmıştır

(HS=1). Fakat odada insan bulunmazken (HS=0), iklimlendirme sisteminin sıcaklık değışikliği yapılması ( $T_d = 2, 3$  ve  $4$  °C) (kışın azaltılması, yazın arttırılması) durumu analiz edilmiştir. Konutta toplam dış duvar ve pencere alanının % 50'si oturma odası (OO), % 40'ı yatak odası (YO), % 10'u ise mutfağa (MM) aittir. Hesaplamanın akış diyagramı Şekil 3.2'de verilmiştir.

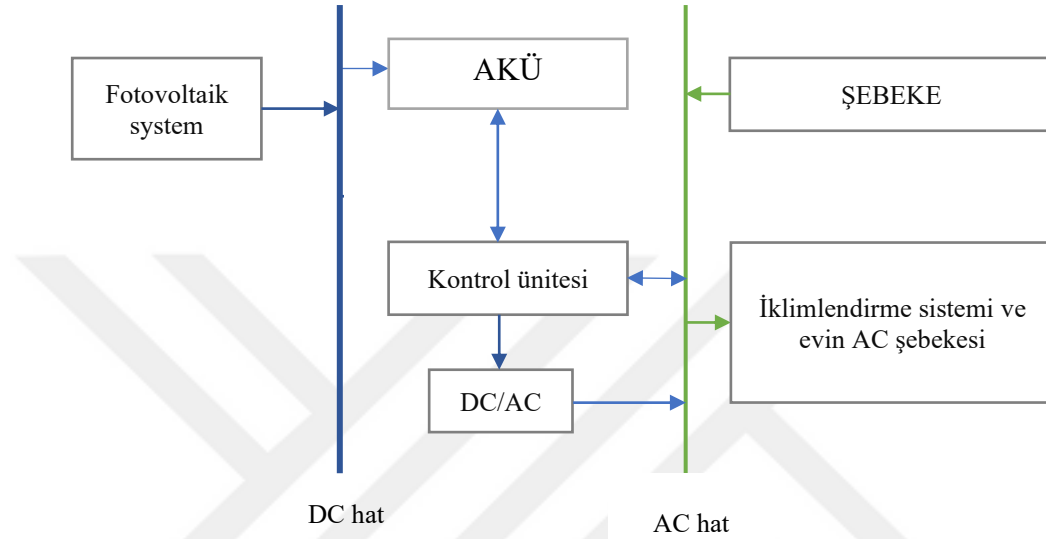


Şekil 3.2. Isıtma ve soğutma talebi hesaplama akış diyagramı

Binanın mevcut U değeri oldukça yüksektir. Bu durum enerji talebini arttırmaktadır. Şekil 3.2'de gösterilen model ile enerji talebi hesaplanan iklimlendirme sisteminin toplam enerji talebinin en düşük olduğu U değeri optimizasyon algoritması tarafından hesaplanmış ve optimum U değeri olarak belirlenmiştir.

### 3.3. Akıllı Evin Donanımı ve Devre Tasarımı

Bu çalışmada hareket ve sıcaklık sensörlerinden veri temin edilmiştir. Fotovoltaik panel dış ortama ait aydınlatma şiddetini ölçerken diğer sensörler evin iç ortamında ölçüm yapmaktadır. Şekil 3.3'te güneş enerjisi destekli evin elektrik hattı şeması görülmektedir.



Şekil 3.3. Güneş enerjisi destekli evin elektrik hattı şeması

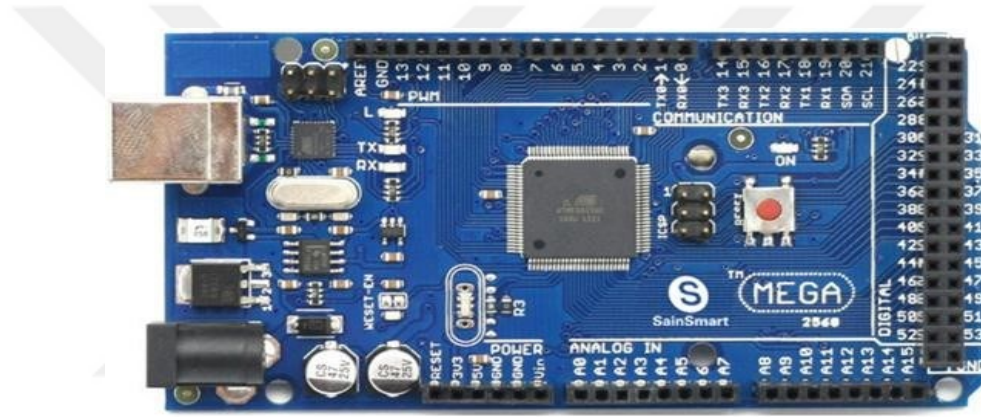
Kerkük ilinde devlete elektrik satışı yapılamamaktadır. Aynı zamanda şehirde sıklıkla elektrik kesintisi yaşanmaktadır. Bu sebeple üretilen fazla elektriğin depolandığı bir sistem tasarlanmıştır. Şekil 3.3.'te görüldüğü üzere üretilen elektrik öncelikle akülerde depolanmaktadır. Daha sonra kontrol ünitesi depodaki elektrik miktarını kontrol ederek iklimlendirme sisteminin elektrik ihtiyacının karşılanacağı kaynağı (akü veya şebeke) seçmekte ve sistemi yönlendirmektedir. Şekil 3.3.'te görüldüğü üzere ihtiyaç fazlası elektriğin şebekeye satılması söz konusu değildir. Konut elektrik ihtiyacını akülerden veya şebekeden sağlamaktadır. Şebekeden alınan elektriğin bedeli ise 0,06 \$/kWh'dir. İklimlendirme sisteminin elektrik ihtiyacından fazla üretilen elektrik evin AC hattına verilerek diğer evsel elektrikli cihazlar tarafından kullanılmaktadır.

### 3.3.1. Arduino

Arduino, bir mikrodenetleyici kartına dayanmaktadır. Arduino'nun, birkaç girişi (örneğin anahtarlar ve/veya sensörler) vardır ve birkaç çoklu çıkışı (örneğin, ışıklar, motor ve benzeri) kontrol eder. Arduino programı Windows, Macintosh ve Linux işletim sistemlerinde (OS) çalıştırılabilir. Arduino, yeni başlayanlar dahil herkes için öğrenmesi ve uygulaması kolay bir programdır. Arduino, cihazlar arasında etkileşim sağlamak, farklı bir anahtar ve/veya sensörlerden veri almak veya bir motoru kontrol etmek için kullanılabilir. Arduino etkinlikleri bağımsız kalabileceği gibi, belirli bir cihazda çalışan programlara (örneğin, Flash ve Maxmsp) da bağlanabilir. Devre kartı manuel olarak parça parça toplanabilir veya önceden monte edilmiş olarak satın alınabilir. Ayrıca, açık kaynaklı IDE ücretsiz olarak indirilebilir. Arduino kartı, Ivrea Etkileşim Tasarım Enstitüsünde oluşturulmuş ve programlama ve elektronik kavramları hakkında bilgisi olmayan öğrenciler için önerilmiştir. Her Arduino kartı tamamen açık kaynaklıdır, bu da kullanıcıların bunları ayrı ayrı tasarımlarına izin verildiği ve Arduino'nun tam ihtiyaçlarına göre uyarlanması gerektiği anlamına gelir. Arduino, interaktif projeler geliştirmek için tasarlanan, elektronik donanım ve yazılım temelli bir geliştirme platformudur. Platform, bir mikrodenetleyici ile yazılım veya Entegre Geliştirme Ortamı (Integrated Development Environment, IDE) olmak üzere iki bölümden oluşur. IDE, bilgisayar kodunu fiziksel Mikrodenetleyiciye yazmak ve yüklemek için kullanılan bir bilgisayarda çalışır. Diğer devre kartlarının çoğunun aksine programlanabilir olan Arduino platformunun, yeni bir kod programlamak için bir donanım parçasının bağlantısını kesmesine ve onu karta kurmasına gerek yoktur, bunun yerine doğrudan bağlantı yapılarak bu amaç için bir USB kablosu yeterli olur. Arduino IDE'yi daha basit hale getirmek amacıyla, C++ programının temel sürümü kullanılır. Son olarak, Mikrodenetleyicinin işlevlerini birkaç ekstra pakete ayırmak için standart bir biçim katsayısı kullanılır (Arduino Web Sitesi). Arduino kartları sayesinde farklı mühendislik projeleri ve uygulamaları hayata geçirilmiştir. Arduino'nun yazılımı yeni başlayanlar için oldukça basit olduğu gibi, daha profesyonel kullanıcılar için de yeterince esnekler. Arduino yazılımı Windows, Linux ve Mac OS ile uyumludur. Maliyet açısından Arduino kartları diğer Mikrodenetleyici kartlara nazaran oldukça düşüktür. Arduino modülünün en düşük maliyetli versiyonu manuel olarak takılabilirken, Arduino modülünün ön montajı 50 dolar civarında bir maliyetle çözülebilir. Açık kaynaklı araçlar olarak piyasaya sürülen Arduino yazılımı, deneyimli programcılar tarafından

genişletilebilir. Yazılımın dili, C++ kütüphaneleri tarafından genişletilebilir. Creative Commons lisansı altında yayınlanan Arduino kartları, tasarımcılara aradıkları bir sürümü geliştirerek ve genişleterek oluşturma fırsatı vermektir. Çok ayrıntılı bilgiye sahip olmayan kullanıcı bile, kartın çalışma sistemini anlamak ve ekonomik olması açısından kendi sürümünü oluşturabilir (Hadi Al-Samarraei, 2018).

Arduino Mega, Arduino UNO'ya benzer bir işlevsellik kartıdır. Arduino Mega'da çok fazla dijital Giriş/ıkış pini (14-pin PWM O/PS olarak kullanılabilir), 6-analog giriş, reset butonu, güç jakı, USB bağlantısı bulunmaktadır. Çok sayıda pin, Arduino Mega kartını çok sayıda dijital I/PS veya I/PS gibi daha fazla düğme için daha güçlü kılar. Arduino Mega 2560 kartı Şekil 3.4.'de gösterilmiştir (Hadi Al-Samarraei, 2018).



Şekil 3.4. Arduino mega 2560 kartı

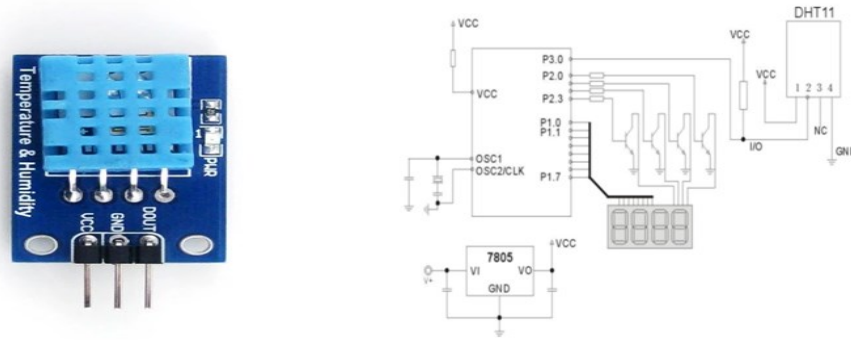
### 3.3.2. Sensörler

Sensör, ortamdaki değişikliği algılayan ve diğer sistemlerdeki bazı çıkışlara yanıt veren bir alettir. Sensörün girdisi ışık, ısı, hareket, nem, basınç veya çevresel diğer hadiselerden herhangi biri olabilir. Sensörün ıkışı genellikle insanlar tarafından okunabilir ve diğer sistemlere girdi olarak iletilebilir.

### 3.3.3. DHT11 Sıcaklık Sensörü

Kalibre edilmiş dijital sinyal çıkışı olan bir sensördür. Özel dijital sinyal toplama tekniğini ve sıcaklık ve nem algılama teknolojisini kullanarak, yüksek güvenilirlik ve mükemmel uzun vadeli kararlılık sağlar. Bu sensör, dirençli tipte bir nem ölçüm bileşeni ve bir NTC sıcaklık ölçüm bileşeni içerir ve mükemmel kalite, hızlı yanıt, parazit önleme

özelliği ve maliyet etkinliği sunan yüksek performanslı 8 bitlik bir mikro denetleyiciye bağlanır. Her bir DHT11 sensörü, son derece doğru bir nem kalibrasyon odasında kalibre edilir. Kalibrasyon katsayıları OTP belleğinde bir program olarak saklanır ve bu kalibrasyon katsayıları, algılama sinyalinin işlenmesi sırasında dahili olarak adlandırılır. Tek telli seri arayüz, sistem entegrasyonunu kolay ve hızlı hale getirir. Ultra küçük boyutlu, son derece düşük güç tüketimi ve 20 metreye kadar sinyal iletim mesafeleri, en zorlu uygulamalar için bile en iyi seçimdir. DHT11 sensörünün resmi Şekil 3.5'te verilmiştir (Hadi Al-Samarraei, 2018).



Şekil 3.5. DHT11 sıcaklık sensörü

### 3.3.4. PIR Hareket Sensörü

PIR sensörleri (hareket sensörü), bir ortamda oluşan canlı hareketini algılamak için kullanılan sensörlerdir. PIR ayrıca pasif kızılötesi olarak da bilinir. Bu minik boyutlu sensör, çeşitli elektronik, robotik ve hobi uygulamalarında rahatça kullanabileceğiniz, Arduino başta olmak üzere birçok mikrodenetleyici platformu ile beraber kullanılabilir modüldür. Sensörün işlevi, fonksiyon alanı içerisindeki insan hareketini algılamaktır. Sensör, potansiyometrenin iki parçası olarak tasarlanmıştır, ilk kısım gecikme süresini ayarlamak için sol taraf, ikinci kısım ise hassasiyeti ölçmek için kullanılan sağ taraftır. Hareket sensörü PIR tipi HC-RS501'e ait görsel, Şekil 3.6.'da verilmişti (Hadi Al-Samarraei, 2018).



Şekil 3.6. PIR Hareket sensörü

### 3.3.5. INA219 Akım Sensörü

INA219 iki yönlü akım/güç izleme kontrol devresi, I2C seri protokolünü kullanan bir akım sensörü modülüdür. INA219 sadece şönt direnci üzerindeki değişiklikleri değil, ayrıca üzerindeki voltaj değerlerini de okuyabilir bu sayede üstündeki güç hesaplanabilir. Bu modül 0.1 ohm %1 toleranstaki hassas direnç ile gelir. Üstündeki direnç ile  $\pm 3.2A$  aralığında ölçüm yapabilir, bu direnç ile 12 bit'te 0.8mA çözünürlük sunar. INA219 Akım Sensörü, +26V'a kadar DC voltajı ölçebilir.

INA219 Akım Sensörü şu altı pimden oluşur:

VCC

GND

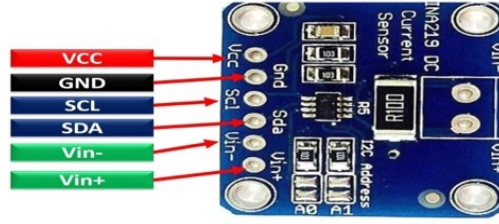
SCL

SDA

Vin –

Vin +

Bu pinlerde güç kaynağı için VCC ve GND pinleri kullanılmaktadır. I2C iletişimi için SCL ve SDA ve voltajı ölçmek için Vin+ ve Vin- pinleri kullanılır. Panoda görülen A0 ve A1, I2C Adres seçimi için kullanılır. R100, Akım Algılama Direncidir ve ortadaki küçük çip, INA219 çipidir. Şekil 3.7'de INA219 Akım Sensörünün resmi gösterilmektedir. (INA219).



Şekil 3.7. INA219 Akım Sensörü

### 3.3.6. Nokia 5110 LCD

Robotekno Nokia 5110 LCD Ekran Modülü Aydınlatmalı 84x48 LCD Modül Işıklı Arduino Uyumlu Grafik LCD, Arduino ve farklı mikrodenetleyici platformları ile beraber kullanabileceğiniz, kolay kullanımlı Nokia 5110 ekranı projeleriniz için güzel bir grafik LCD'dir. PCB üzerine yerleştirilerek, kontrol pinleri dışarı çekilmiştir. Bu sayede breadboard ve farklı devreler üzerinde rahatlıkla kullanılabilir. Bu LCD modül, Philips'in PCD8544 sürücüsünü kullanmaktadır (Nokia 3310 sürücüsü). 84x48 piksellik grafik ekranlarda sıklıkla kullanılan bir sürücüdür. Bu sebeple birçok örnek uygulama ve kütüphane bulunmaktadır. Şekil 3.8'de Nokia 5110 LCD 84x48 göstermektedir (Hadi Al-Samarraei, 2018).



Şekil 3.8. Arduino uyumlu Nokia 5110 LCD 84x48 Modül

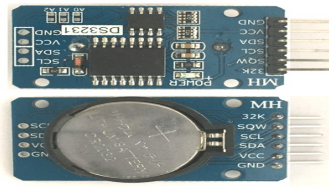
### 3.3.7. DS3231 Gerçek Zamanlı Saat

DS3231 gerçek zamanlı uygulamalar gerçekleştirebileceğiniz hassas RTC ve 24c32 EEPROM modülü kartıdır. Bağlantı arayüzü olarak I2C/IIC kullanmaktadır.

Modül üzerinde bulunan CR2032 pil yuvasına takılacak para pil sayesinde güç kesilse bile gerçek zaman bilgisi hafızadan kaybolmayacaktır. Entegre osilatör, cihazın uzun vadeli hassasiyetini arttırmaktadır. RTC, saniye, dakika, saat, gün, tarih, ay ve yıl bilgilerini tutar. Ayın 31 gününden az, bitiş tarihi, artık yıl düzeltmeleri de dahil olmak



üzere otomatik olarak ayarlanır. Saat, 24 saat veya 12 saatlik formatın bant / AM / PM göstergesinde çalışır. Yapılandırılabilir iki alarm saati sağlar ve bir takvim, kare dalga çıkışına ayarlanabilir. Adres ve veriler seri olarak bir I2C çift yönlü veri yolu üzerinden aktarılır. DS3231 Gerçek Zamanlı Saati, Şekil 3.9'da gösterilmiştir. (DS3231).



Şekil 3.9. DS3231 Gerçek zamanlı saat

### 3.3.8. Güneş pilleri

Fotovoltaik paneller (PV) içerdiği yarı iletken malzemeler sayesinde ışık enerjisini elektrik enerjisine çeviren, doğrudan güneşten veya herhangi bir yapay ışık kaynağından gelen ışık enerjisini emen bir cihazlardır. Şekil 3.10'da Güneş pilli gösterilmiştir (JANABI, 2018).



Şekil 3.10. Güneş pilli

Bir PV panelin ürettiği elektriği hesaplamak için, PV'nin normali ile güneş arasındaki gelme açısı ( $\theta_{pv}$ ) olarak adlandırılan açının bilinmesi gerekir.  $\theta_{pv}$ 'yi hesaplamak için öncelikle PV'nin oryantasyonu  $\beta_{pv}$  ve  $\gamma_{pv}$  ile tanımlanır. Güneşin konumu  $\theta_z$  ve  $\gamma_s$  ile tanımlanır.  $\theta_{pv}$ 'yi hesaplamak için;  $\beta_{pv}$ ,  $\gamma_{pv}$ ,  $\theta_z$  ve  $\gamma_s$  elde edilmelidir.  $\beta_{pv}$ , PV yüzeyi ile yatay arasındaki açıdır.  $\gamma_{pv}$ , PV yüzeyinin azimutudur. Azimut, PV yüzeyinin normalinin yatay ve güneydeki izdüşümü arasındaki açıdır (Güney için 0, Kuzey için 180).

$\theta_z$ , dünyadaki belirli bir noktada (yatay bir yüzeye normal) dikey bir çizgi ile güneş-dünya çizgisi arasındaki açıdır. Böylece güneş tam tepedeyken  $\theta_z = 0^\circ$  olur ve (3.7) ile hesaplanır.

$$\cos(\theta_{z,i}) = \sin(\Phi) \times \sin(\delta_i) + \cos(\Phi) \times \cos(\delta_i) \times \cos(h) \quad (3.7)$$

Bu eşitlikte “ $\theta_z$ ” güneş zenit açısı, “ $\Phi$ ” enlem, “ $\delta$ ” sapma ve “ $i$ ” saattir (Krall, 2011).

Güneşin eğimi (3.8) ile hesaplanır.

$$\gamma_i = \frac{2 \times \pi}{365} \times \left( n + \frac{h-12}{24} \right)$$

$$\delta_i = 0.006918 - 0.399912 \cos(\gamma) + 0.070257 \sin(\gamma) - 0.006758 \cos(2\gamma) + 0.000907 \sin(2\gamma) - 0.002697 \cos(3\gamma) + 0.00148 \sin(3\gamma) \quad (3.8)$$

Bu eşitlikte “ $n$ ” gün (1-365), “ $h$ ” ise saattir.

Solar azimut açısı ( $\gamma_s$ ) (3.9) (Krall, 2011) ile hesaplanır.

$$\cos(180 - \gamma_{s,i}) = - \frac{\sin \Phi \cos \theta_{z,i} - \sin \delta_i}{\cos \Phi \sin \theta_{z,i}} \quad (3.9)$$

$\beta_{pv}$ ,  $\gamma_{pv}$ ,  $\Theta_z$  ve  $\gamma_s$  elde edildikten sonra güneşin geliş açısı ( $\Theta_{pv}$ ) (3.10) ile hesaplanır, (Baker, 2020).

$$\cos(\theta_{pv,i}) = \cos(\theta_{z,i}) \times \cos(\beta_{pv}) + \sin(\theta_{z,i}) \times \sin(\beta_{pv}) \times \cos(\gamma_{s,i} - \gamma_{pv}) \quad (3.10)$$

Bu eşitlikte “ $\beta_{pv}$ ” PV ile yatay arasındaki açı iken, “ $\gamma_s$ ” güneşin azimutudur. Küresel güneşlenme, doğrudan ( $I_d$ ) ve yaygın ( $I_{di}$ ) güneşlenmenin toplamıdır.  $I_{d,pv} = I_d \times \cos(\theta_{pv})$ 'dir ( $\theta_{pv} < 90$  ise).  $I_{di}$ ,  $I_{di,pv} = I_{di} \times ((1 + \cos(\beta_{pv}))/2)$ 'dir .Toplam güneşlenme (3.11) ile hesaplanır.

$$I_{pv,i} = I_{d,pv,i} + I_{di,pv,i} = \max[I_{d,i} \times \cos(\theta_{pv,i}), 0] + I_{di,i} \times ((1 + \cos(\beta_{pv}))/2) \quad (3.11)$$

Son olarak, bir PV tarafından üretilen elektrik, (3.12) kullanılarak saatlik olarak

hesaplanır.

$$P_{pv,i}=A \times \eta \times I_{pv,i} \quad (3.12)$$

“ $P_{pv}$ ” PV'nin güç çıkışı, “ $A$ ” panel alanı, “ $\eta$ ” panel verimliliğidir.

Kullanılacak akünün kapasitesi (3.13) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$K_{akü} = \frac{N_{os} \times ET_{max}}{T_f \times R_f \times 2} \quad (3.13)$$

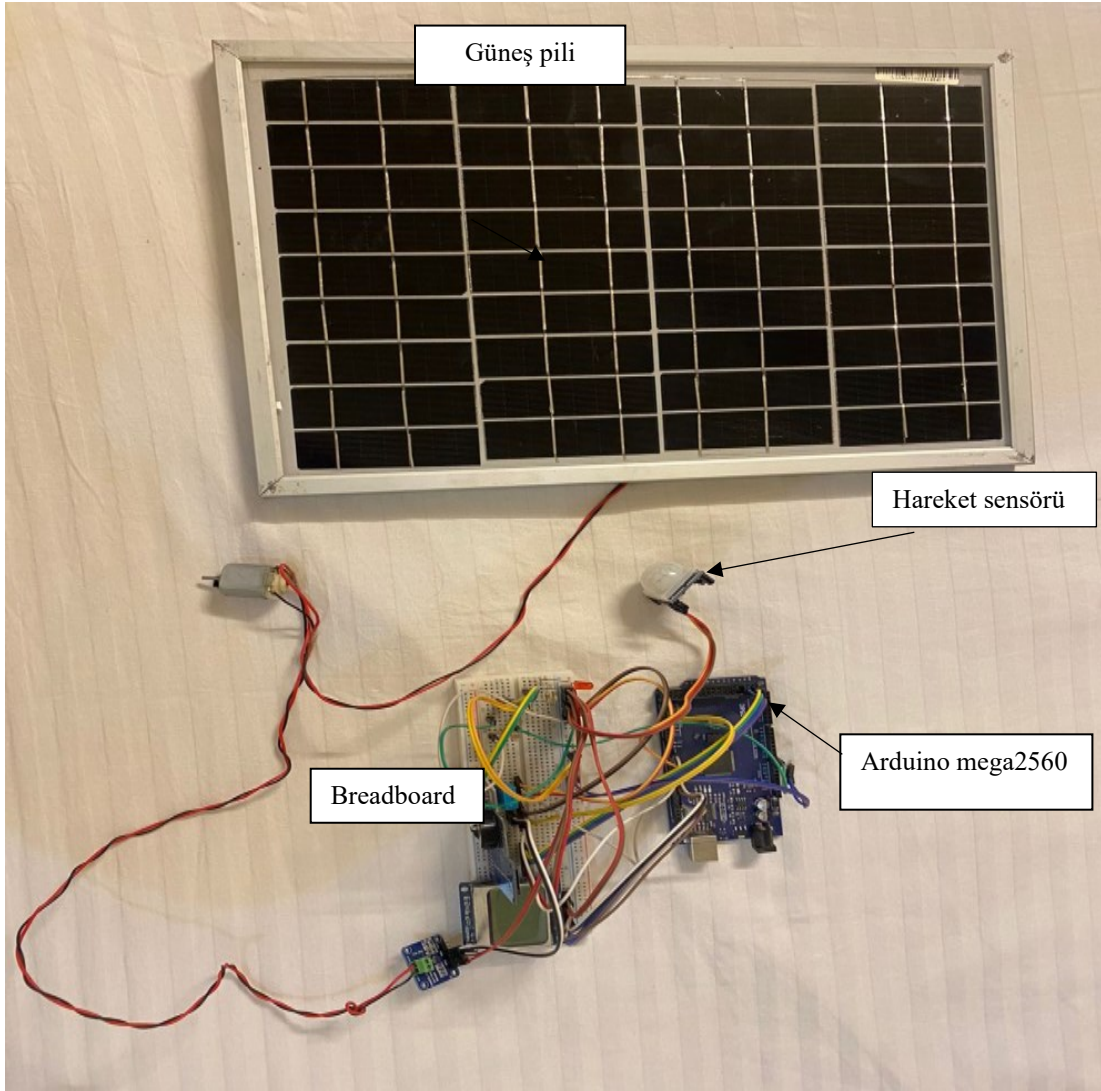
Bu eşitlikte  $K_{akü}$  ihtiyaç duyulan akü kapasitesini göstermektedir.  $N_{os}$  otonomi günlerini ifade etmektedir. Otonomi süresi şehirde günlük elektrik kesintisinin ortalama 6 saat olması sebebi ile 0,25 gün olarak kabul edilmiştir. Bu durumda 6 saat şebekeden elektrik alınamazsa ve güneş yetersiz olsa dahi ihtiyaç duyulan enerji aküden temin edilecektir.  $ET_{max}$  yıl boyunca günlük olarak fotovoltaik sistem tarafından üretilen en düşük enerji (Wh/gün) ile talep edilen en yüksek enerji (Wh/gün) arasındaki farkı göstermektedir. İklimlendirme sisteminin kışın elektrik tüketimi daha fazladır. Bu çalışmada akü sayısını azaltmak için en yüksek talebin değil ısıtma amaçlı yıllık ortalama elektrik talebinin karşılanacağı bir akü sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem ile kesintinin en soğuk günde yaşanması durumunda iklimlendirme sisteminin derecesi düşürülerek sistemin 6 saat ayakta kalması sağlanabilir.  $T_f$  ve  $R_f$  seçilen akünün sıcaklık ve oran faktörlerini göstermektedir. İhtiyaç duyulan akü kapasitesi hesaplandıktan sonra akü sayısı (3.14) ile hesaplanmıştır.

$$N_{akü} = \frac{K_{akü}}{I_b \times V_b} \quad (3.14)$$

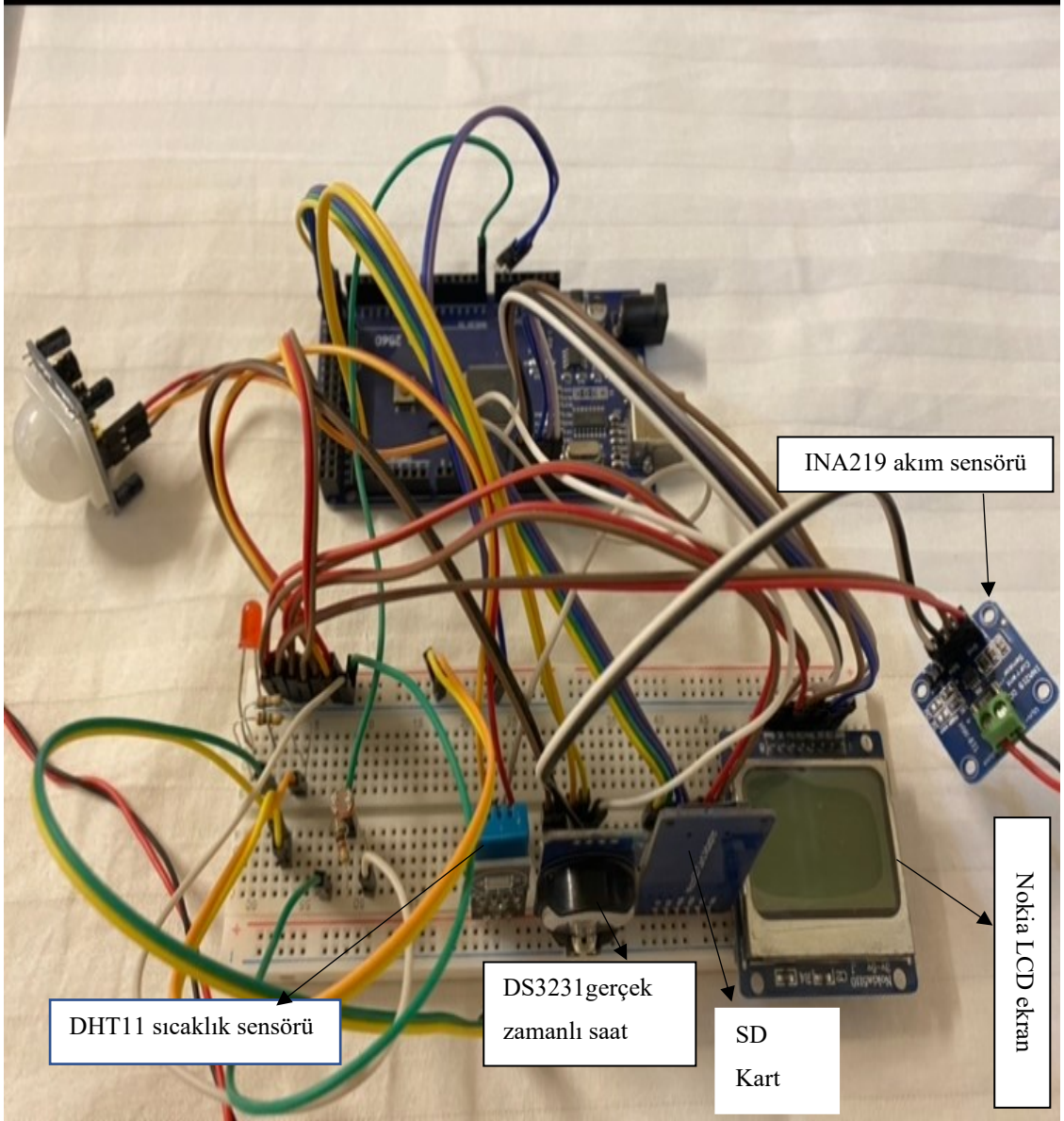
Bu eşitlikte  $I_b$  ve  $V_b$  seçilen akünün akım ve gerilim değerleridir.

### 3.3.9. Devrede Kullanılan Elemanlar

Bölüm 3.3. ile 3.7. arasında bahsi geçen devre elemanlarının kullanılması sonucunda elde edilen fotoğraf şekil 3.11 ve şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Devrede kullanılan Elemanlar



Şekil 3.12. Devrede kullanılan Elemanlar

### 3.4. Ekonomik analiz

Fotovoltaik sistemin maliyet çözümlemesi; yatırım maliyeti, güç üretim maliyeti ve geri ödeme süresi (GÖS) olmak üzere üç başlık altında incelenmiştir. Maliyet hesaplamalarında sistemin Kerkük'te satılmaması sebebi ile Türkiye'de temin edilen fiyatlar temel alınmıştır. Net bugünkü değer (NBD), sistemin kendisini geri ödeme süresinin hesaplanmasında kullanılan bir ölçüttür. Yatırım maliyetinden, sistemin net nakit akışı (NNA) her işletme yılı için çıkartılarak NBD hesaplanabilir. NBD'in ilk pozitif olduğu yıl sistem kendisini geri ödemiş olarak kabul edilir.

Her yıl (i) için NNA, sistemin ürettiği enerji sayesinde elde edilen gelir ile sistemin maliyetine harcanan ücretten kalan miktardır. Fotovoltaik sistem için NNA (3.15) ile hesaplanabilir.

$$NNA_i^{fv} = NG_i^{fv} - NÇ_i^{fv} = f_e(E_{fv}) \quad (3.15)$$

Bu eşitlikte,  $NNA_i^{fv}$  i. yılda fotovoltaik sistem için net nakit akışıdır (\$/yıl).  $NG_i^{fv}$  ve  $NÇ_i^{fv}$  ise i. yılda nakit girişi ve çıkışıdır (\$/yıl).  $f_e$  konutlara elektrik satış tarifesi (\$/kWh),  $E_{fv}$  ise sistemin ürettiği elektriktir (kWh/yıl).

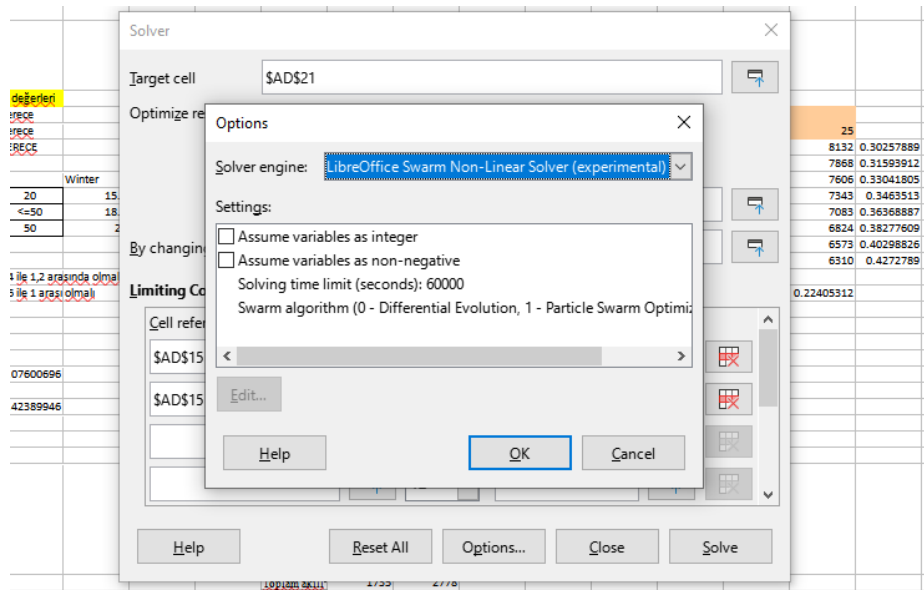
Bu durumda sistemin geri ödeme süresi (3.16) ile elde edilen NBD'in ilk pozitif olduğu yıldır. NBD (3.16) ile hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} NBD &= \frac{NNA_1}{(1 + nf)} + \frac{NNA_2}{(1 + nf)^2} \dots + \frac{NNA_N}{(1 + nf)^N} \\ &= \sum_{i=1}^N \frac{NNA_j}{(1 + nf)^i} \end{aligned} \quad 3.16$$

Bu eşitlikte,  $nf$  nominal faizdir ve  $N$  sistemin işletim süresidir (Bernal-Agustín ve Dufo-López, 2006). Kerkük ilinde nominal faiz oranı % 5, sistemin işletim süresi 25 yıl olarak alınmıştır.

### 3.5. Optimizasyon yöntemi

Bu tez çalışmasında Libreoffice programı lineer olmayan sürü optimizasyon modülü iklimlendirme sisteminin enerji tüketiminin en aza indirilmesi için gereken optimum dış duvar ısı iletkenlik değerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Ayrıca iklimlendirme sisteminin enerji talebinin karşılayacak fotovoltaik sistemin optimum açısı ve kapasitesini hesaplamak amacı ile de kullanılmıştır. Doğrusal programlama problemlerinde, optimal çözümün bulunması için doğrusal objektif fonksiyonlar ve kısıtlamalar söz konusudur. Doğrusal programlama tekniğinde kullandığımız kısıtlamalar  $\leq$  veya  $\geq$  tipi veya bu ikisinin bir kombinasyonudur (Murthy, 2007). Objektif fonksiyonun doğrusal olmadığı ve/veya uygulanabilir bölgenin doğrusal olmayan kısıtlamalarla belirlendiği durumlarda, sorun doğrusal olmayan bir programlama problemi (DOP) olarak tanımlanır (Bradley, 1977). Doğrusal olmayan optimizasyon problemlerinin çözümü, hesaplama matematiğinin temel bileşenlerinden biridir. Bir başka ifadeyle, değişkenlerin kısıtlamalarla kısıtlanabileceği bilinmeyen parametreleri/değişkenleri içeren nesnel bir fonksiyonun en aza indirilmesi veya maksimizasyonudur (Blowey ve ark., 2003). Bu tez çalışmasında U değeri (ısı iletkenlik değerinin) ve enerji tüketiminin (ısıtma+soğutma) doğru orantılı olmadığından dolayı Doğrusal olmayan programlama tercih edilmiştir. Şekil 3.13’de kullanılan çözümleyici aracının ekran görüntüsü görülmektedir. Burada sürü algoritması seçeneklerinden diferansiyel evrim algoritması seçilmiş ve kullanılmıştır.



Şekil 3.13 Libreoffice çözümleyici ekranı



### 3.5.1. Diferansiyel Evrim Algoritması

Optimizasyon problemlerinde yaygın olarak kullanılan Diferansiyel Evrim algoritması, popülasyon temelli güçlü bir gelişim algoritmasıdır (Storn ve Price, 1997; Corne ve ark., 1999).

Diferansiyel evrim algoritması (DEA), Price ve Storn tarafından 1995 yılında geliştirilmiştir. Özellikle sürekli verilerin söz konusu olduğu problemlerde etkin sonuçlar verebilen bir algoritmadır. İşleyiş ve operatörleri itibariyle genetik algoritmaya dayanan popülasyon temelli sezgisel optimizasyon tekniğidir (Storn ve Price, 1997; Corne ve ark., 1999; Storn, 2001). Temel olarak Genetik algoritmaya (GA)'ya dayanmaktadır ve popülasyon tabanlıdır. Çaprazlama, mutasyon ve seçim operatörleri diferansiyel evrim algoritmasında da kullanılmaktadır. Farklı olarak her bir operatör tüm popülasyona sırayla uygulanmamaktadır (Michalewicz, 1992; Hrstka ve Kučerová, 2004). Diferansiyel evrim algoritmasının parametreleri aşağıda verilmiştir (Keskinürk, 2006) :

Başlangıç popülasyonu ve kontrol parametreleri aşağıdaki şartları sağlayacak şekilde tanımlanır. (NP:popülasyon sayısı, CR: Kombinasyon oranı, F:ölçeklendirme faktörü)

- A- NP: popülasyon sayısı (  $NP \geq 4$  (1, 2, 3, ..., i)
- B- CR : çaprazlama oranı [0.1,1.0]
- C- F : ölçekleme faktörü  $F \in (0,1+)$
- D- G : jenerasyon (1, 2, 3, ..., Gmax)
- E- D : değişken sayısı (1, 2, 3, ..., j)

Bu tez çalışmasında optimum duvar ve pencere ısı iletkenlik değerinin (iklimlendirme sisteminin toplam enerji tüketiminin (ısıtma+soğutma) en düşük olduğu U değeri) belirlenmesinde aşağıda yer alan fonksiyon kısıtları kullanılmıştır. Bu kısıtlar piyasada bulunan malzemeler göz önünde tutularak belirlenmiştir.

Optimum U değeri için Fonksiyon kısıtları:

- Toplam enerji tüketimi → En düşük olacak
- $0,3 < U \text{ değeri} < 2$
- Toplam enerji tüketimi  $< 5.942$  (yalıtımsız mevcut binanın enerji tüketimi)

Optimum fotovoltaiik panel açısının belirlenmesinde aşağıda yer alan fonksiyon kısıtları kullanılmıştır.

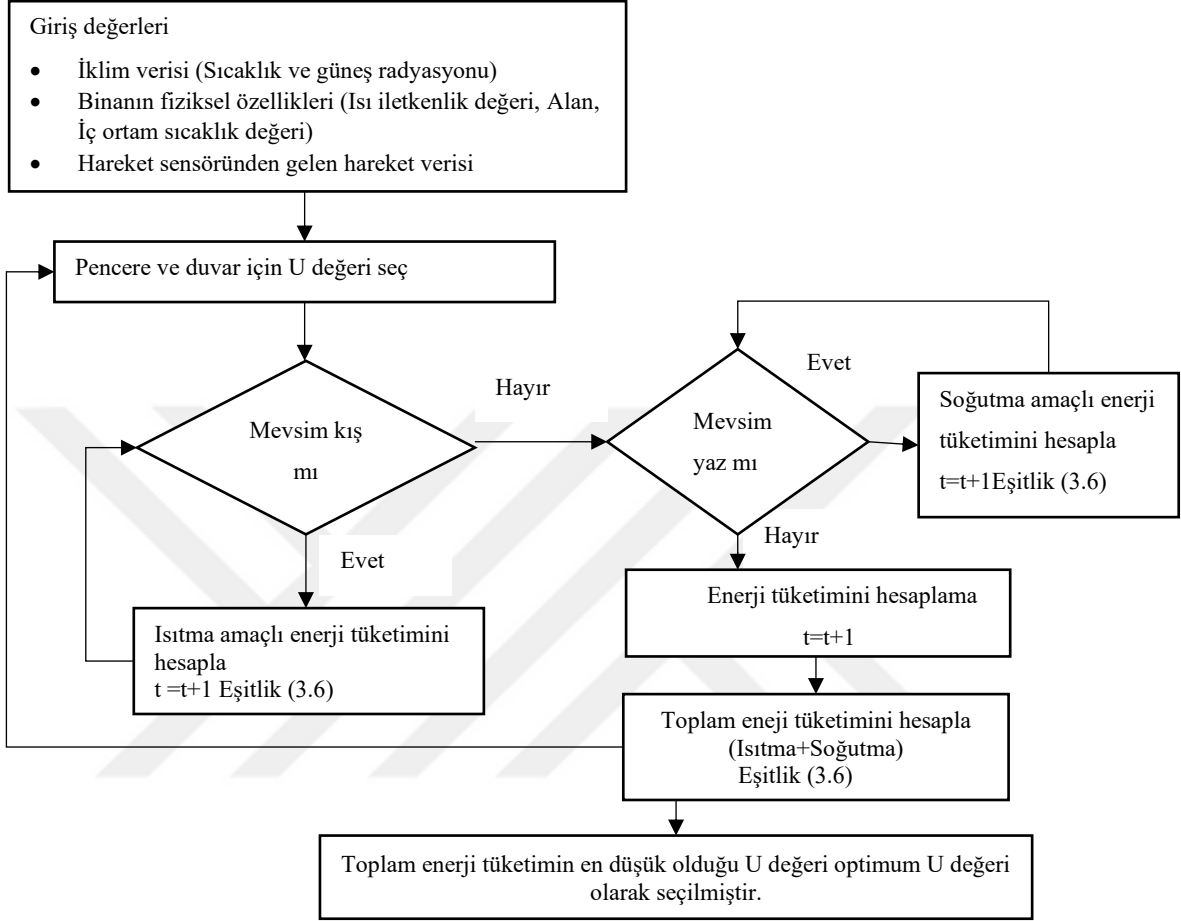
Optimum panel açısı için fonksiyon kısıtları:

- Toplam enerji üretimi → En yüksek olacak



- $20 < \text{Panel açısı} < 70$  (Konumun enleminden dolayı bu aralık seçilmiştir)

Şekil 3.14 Optimum ısı iletkenlik değerinin hesaplanması için akış diagramı verilmiştir.

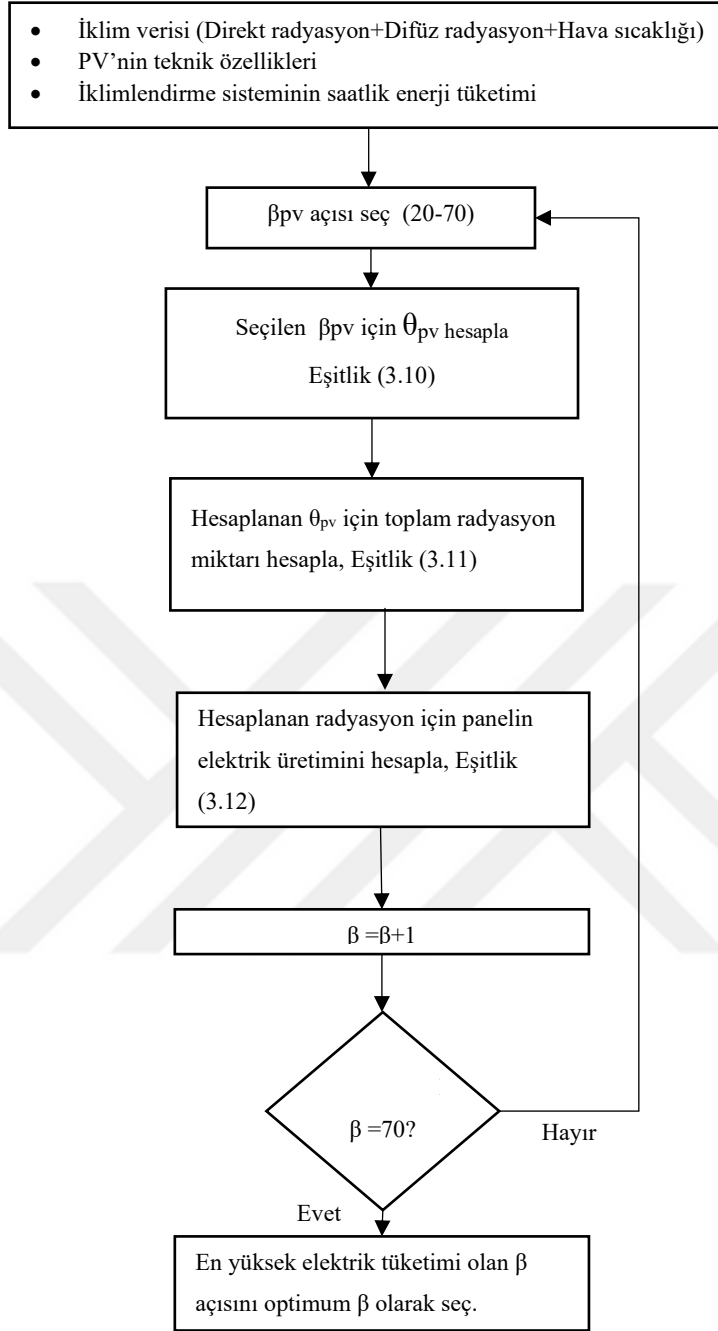


Şekil 3.15. Optimum ısı iletkenlik değerinin hesaplanması için akış diagramı

Konutta kış dönemi 1 Kasım -30 Nisan, yaz dönemi 1 Haziran -30 Eylül olarak belirlenmiştir ve iklimlendirme sistemi bu tarihlerde çalışmaktadır. Bunun dışındaki tarih aralıklarında iklimlendirme sistemi enerji tüketmemektedir.

Isıtma ve soğutma talebi her saat için ayrı hesaplanmıştır daha sonra ikisinin toplam tüketimi hesaplanmıştır.

İklimlendirme sisteminin saatlik elektrik tüketimi hesaplandıktan sonra hesaplanan veriler PV'nin optimum açısı hesabında kullanılmıştır. Hesaplamanın akış diyagramı Şekil 3.15 verilmiştir.



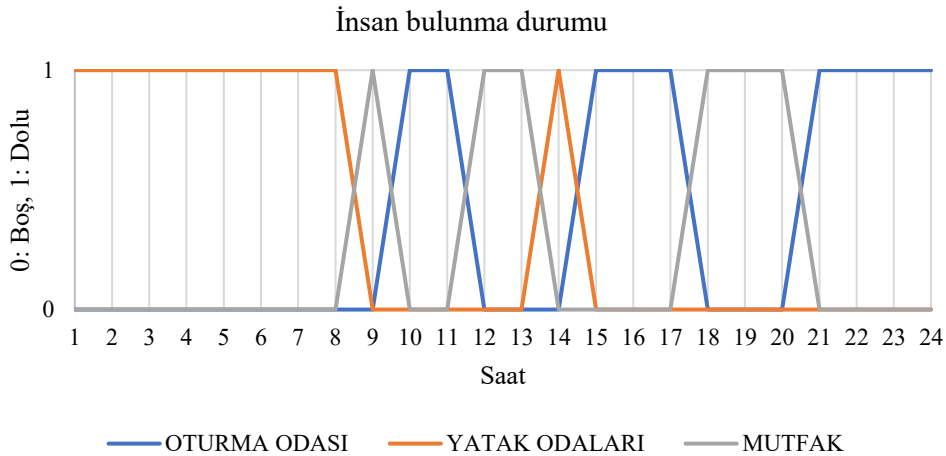
Şekil 3.16. Optimum ısı iletkenlik değerinin hesaplanması için akış diagramı

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde tez çalışmasında elde edilen sonuçlar verilmiştir. Öncelikle hareket sensöründen elde edilen veriler doğrultusunda odaların doluluk oranı verisi verilmiştir. Daha sonra, boş olan odalarda iç ortam sıcaklığının kışın düşürülmesi, yazın yükseltilmesinin enerji talebine olan etkisinin hesaplanması sonucunda elde edilen veriler verilmiştir. Devamında, ölçümlerin yapıldığı konutta yıllık toplam iklimlendirme sisteminin harcadığı enerjinin (ısıtma+soğutma) minimum olması için, dış duvarların optimum ısı iletkenlik değerleri hesaplanmış ve verilmiştir. Son olarak konutun iklimlendirme sisteminin harcadığı enerjiyi karşılayacak optimum fotovoltaik sistem kapasitesi verilmiştir.

### 4.1. Hareket Sensöründen Elde Edilen Veriler

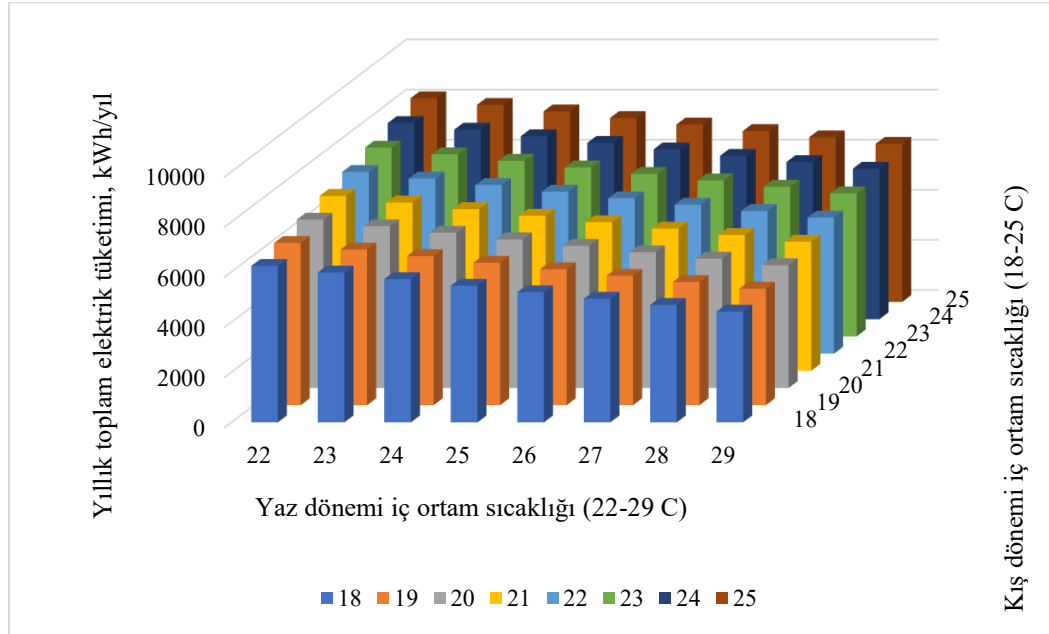
Hareket sensöründen bir ay süresince veri elde edilmiş ve bu verilerin yıl boyunca aynı olduğu varsayılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda oturma odası, yatak odası ve mutfakta bir gün için saatlik insan bulunma şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Odalarda ortalama günlük insan bulunma durumu.

## 4.2. Farklı İç Ortam Sıcaklıkları İçin İklimlendirme Amaçlı Enerji Tüketimi

Konut kışın 22 °C, yazın ise 27 °C derecede tutulmaktadır. İç ortam sıcaklığının kışın 18-25, yazın ise 22-29 °C arasında değiştirilmesinin ısıtma ve soğutma amaçlı toplam enerji tüketimine olan etkisi şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. İç ortam sıcaklığının değiştirilmesinin ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimine olan etkisi

Aynı zamanda Şekil 4.2’de verilen değerler çizelge 4.1’de de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kış ve Yaz Aylarında Farklı İç Ortam Sıcaklıkları İçin Isıtma ve Soğutma Amaçlı Enerji Tüketimi, kWh/yıl.

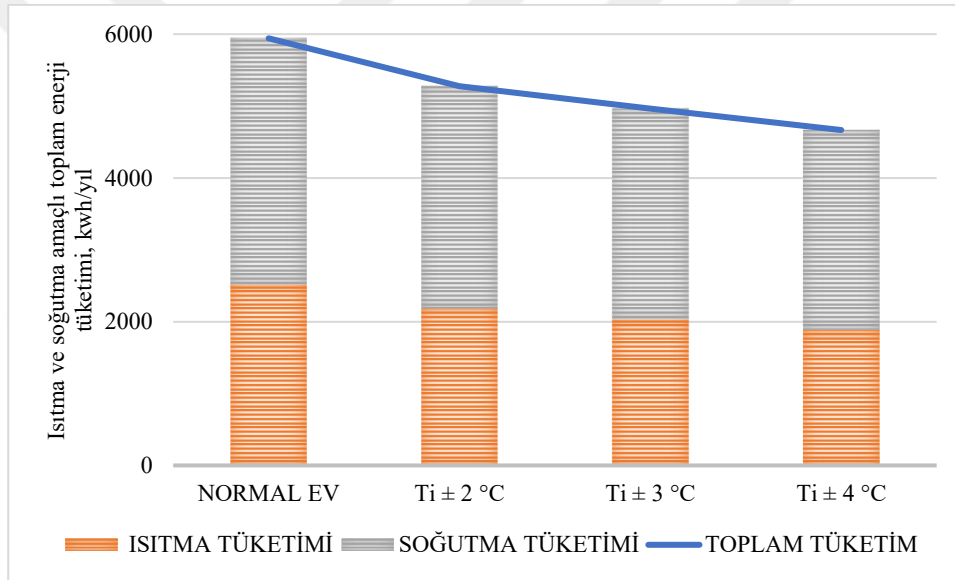
Yaz (22-29)	Kış (18-25)							
	18	19	20	21	22	23	24	25
22	6243	6475	6720	6979	7250	7533	7828	8132
23	5979	6211	6456	6715	6986	7269	7564	7868
24	5717	5949	6194	6452	6724	7007	7302	7606
25	5454	5686	5931	6190	6461	6744	7039	7343
26	5194	5426	5672	5930	6201	6484	6779	7083
27	4935	5167	5413	5671	5942	6225	6521	6824
28	4685	4916	5162	5420	5691	5975	6270	6573
29	4421	4653	4898	5156	5428	5711	6006	6310

Yukarıdaki çizelgede kışın iç ortam sıcaklığının 18°C- 25°C, yazın 22 °C - 29°C arasında değişme durumu incelenmiştir. Konut ölçümlerin yapıldığı sırada kışın 22°C,

yazın 27 °C’de tutulmakta ve yıllık iklimlendirme sistemi toplam 5.942 kWh/yıl enerji harcamaktadır. Çizelge 4.1’den yazın iç ortam sıcaklığının 22 °C’den 29 °C’ye yükseltilmesi toplam enerji tüketimini % 30 ile % 42 arasında azaltmaktadır. Kış döneminde ise iç ortam sıcaklığının 18 °C’den 25 °C’ye yükseltilmesi toplam enerji tüketimini % 22 ile % 29 arasında arttırmaktadır.

#### 4.3. Akıllı Ev İçin sıcaklık Değişiminin Enerji Talebine Olan Etkisi

Akıllı iklimlendirme sisteminin kullanılması durumunda, hareket sensörü ile insan olmayan odaların sıcaklığının yazın 2, 3 ve 4 °C artırılması kışın ise azaltılması durumunda toplam enerji tüketimi incelenmiş ve sonuçlar şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.3. Akıllı evde ısı değişikliğinin enerji tüketimine etkisi, kWh/yıl

Aynı zamanda şekil 4.3.te verilen şekile ait veriler çizelge 4.2 verilmiştir.

Çizelge 4.2. Sıcaklık değişiminin ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimine etkisi.

Açıklama	Normal ev	2 °C	3 °C	4 °C	2 °C	3 °C	4 °C
Toplam tüketimi	5.942	5.278	4.965	4.666	11%	16%	21%
Isıtma tüketimi	2.519	2.186	2.032	1.888	13%	19%	25%
Soğutma tüketimi	3.423	3.092	2.932	2.778	10%	14%	19%

Çizelge 4.2.'de görüldüğü üzere insan bulunmayan odalarda sıcaklık değerini kışın azaltan, yazın arttıran bir iklimlendirme sistemi ile toplam tüketimde % 10- % 25 arasında tasarruf yapmak mümkündür.

#### 4.4. Optimum Bina Isı İletkenlik Değeri

Konutun iklimlendirme sisteminin toplam enerji tüketiminin minimum olması için optimum ısı iletkenlik katsayıları libre ofis ile elde edilmiş ve çizelge 4.3'te verilmiştir. Bu değerler kışın iç ortamın 22 °C, yazın ise 27 °C olması için verilmiştir. Çizelge 4.3.'te yer alan "Akıllı ısıtma ve soğutma durumu" iç ortam sıcaklığının insan bulunmayan odalarda 4 °C değiştirilmesi ile elde edilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Binanın optimum ısı iletkenlik ve enerji tüketim değeri.

Açıklama	Optimum değer	Sahip olunan değer
Binanın U değeri, W/ m <sup>2</sup> K	0,4	1,2
Pencere U değeri, W/ m <sup>2</sup> K	0,71	1
Toplam tüketim, kWh/yıl	2807	5942
Toplam akıllı tüketim, kWh/yıl	2339	4666
Toplam akıllı ısıtma, kWh/yıl	604	1888
Toplam akıllı soğutma, kWh/yıl	1735	2778

Çizelge 4.3.'de görüldüğü üzere binanın dış cephe ısı iletkenlik değerinin optimum olması durumunda % 53 enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Optimum ısı iletkenlik değerine sahip binanın iklimlendirme sisteminin akıllı olması durumunda iklimlendirme sisteminin enerji tüketimi 2339 kWh/yıl olarak elde edilmiş ve % 61 enerji tasarrufu sağlanabileceği görülmüştür.

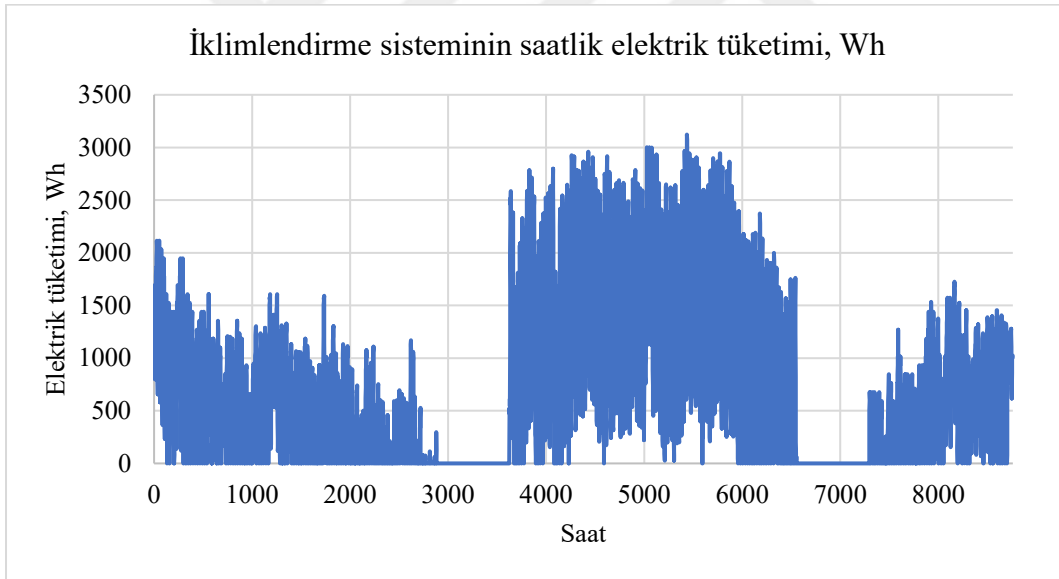
#### 4.5. Optimum Fotovoltaik sistem kapasitesi

Evin iklimlendirme sisteminin harcadığı elektriği karşılayacak optimum fotovoltaik sistem kapasitesi hesaplanmıştır. Bu çalışmada hesaplamalarda kullanılan fotovoltaik panelin ve akünün özellikleri çizelge 4.4'te verilmiştir.

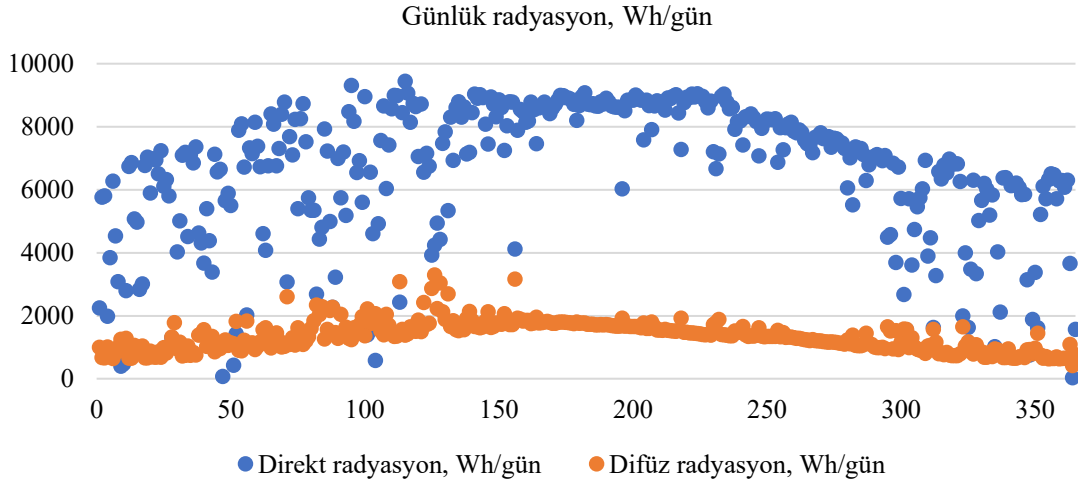
**Çizelge 4.4.** Hesaplamalarda kullanılan fotovoltaik panel ve akü.

Cihaz	Açıklama	Panelin bilgileri
Fotovoltaik panel	Üretici ve Model	CW Energy CWT280-60M 280WP Monokristal Güneş Enerjisi
	Anma gücü	280 Wp
	Alan m2	1,63
	Verim	17%
	Panel açısı	35°
	Panel yönü	Güney
	Maliyet	1.290 \$/kW (Aziz ve ark., 2020)
Akü	Üretici ve Model	
	Maliyet	210 \$/adet (solarenerjial)
	Voltaaj	12 V
	Akım	105 A

Evin iklimlendirme sisteminin saatlik elektrik tüketimi şekil 4.4'te verilmiştir.

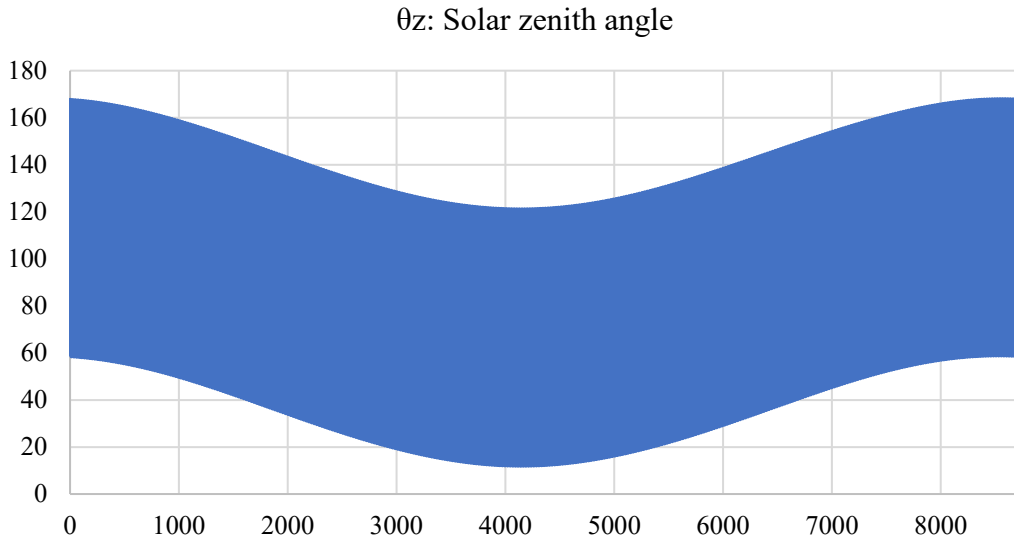
**Şekil 4.4.** Evin iklimlendirme sisteminin (ısıtma+soğutma) saatlik enerji talebi, Wh

Kerkük iline ait günlük radyasyon verisi şekil 4.5' te verilmiştir.



Şekil 4.5. Kerkük iline ait günlük direkt ve difüz radyasyon

Kerkük iline ait hesaplanan zenit açısı şekil 4.6' da verilmiştir.



Şekil 4.6. Kerkük iline ait zenit açısı

Şekil 4.6'de görüldüğü üzere fotovoltaik sistem ürettiği elektriği aküde depolamaktadır. İklimlendirme sistemi enerji ihtiyacını akünün dolu olması durumunda aküden almakta, boş olması durumunda şebekeden almaktadır. Akülerin dolu olması durumunda üretilen ihtiyaç fazlası elektrik ise topraklanmaktadır. İklimlendirme sisteminin ısıtma amaçlı ortalama enerji talebi ve en düşük elektrik üretimi 16 ve 3 kWh/gün olarak hesaplanmıştır. Otonomi süresinin 0,25 gün alınması ile konutun 2 adet akü ihtiyacı olduğu hesaplanmıştır.

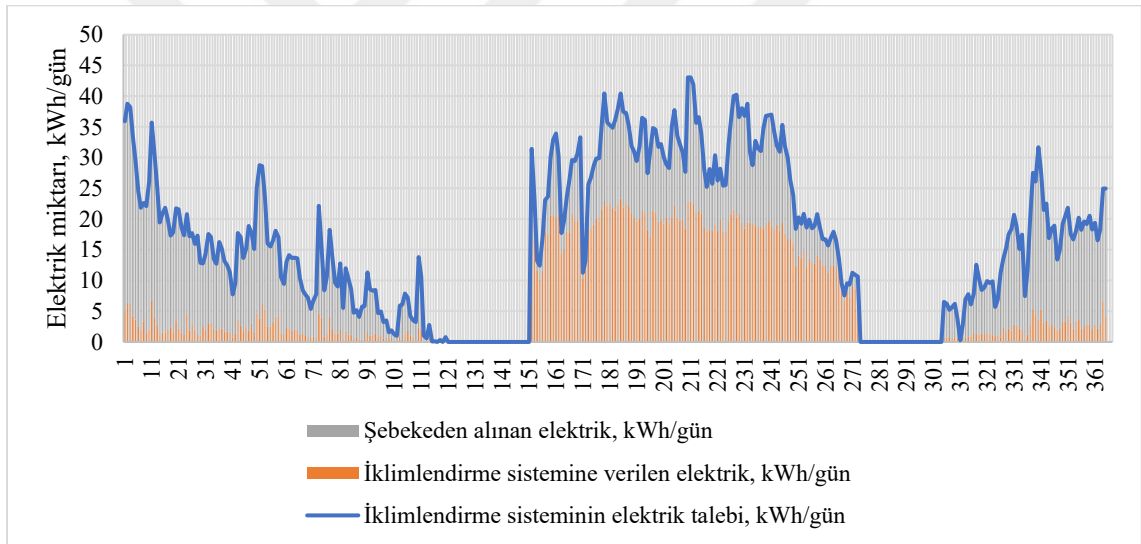


Yapılan hesaplamalarda fotovoltaik sistemin optimum eğim açısı 35 derece, yönü güney olarak hesaplanmıştır. İklimlendirme sisteminin tükettiği kadar elektrik üreten fotovoltaik sistemin kapasitesi 3 kW olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.5'te Fotovoltaik sistemin üreteceği elektriğin talebi karşılama oranı ve sistem maliyeti verilmiştir.

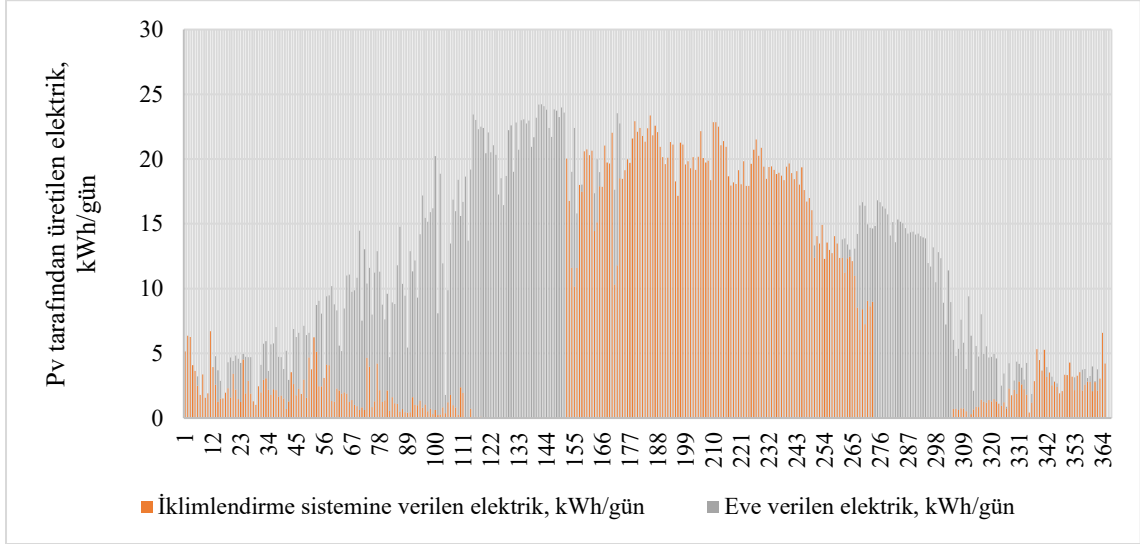
**Çizelge 4.5** Fotovoltaik sistemin üreteceği elektriğin talebi karşılama oranı ve sistem maliyeti.

Açıklama	Sahip olunan değer
İklimlendirme sisteminin elektrik tüketimi, kWh/yıl	5942
PV sisteminin elektrik üretimi, kWh/yıl	5930
Şebekeden alınan elektrik, kWh/yıl	2922
PV'den alınan elektrik, kWh/yıl	3021
Topraklanan elektrik, kWh/yıl	3043
PV+akü sisteminin toplam maliyeti, \$	4209

İklimlendirme sisteminin elektrik talebinin karşılama oranı şekil 4.7'te görülmektedir. Şekil 4.8'de ise şebekeden alınan ve topraklanan günlük elektrik dengesi görülmektedir.



**Şekil 4.7.** İklimlendirme sisteminin elektrik talebinin karşılama durumu



**Şekil 4.8.** Fotovoltaik paneller tarafından üretilen elektriğin iklimlendirme sistemi tarafından ve diğer evsel cihazlar tarafından kullanılan kısmı, kWh/gün

Şekil 4.7’de iklimlendirme sisteminin günlük elektrik talebi ve bu talebin karşılanma durumu görülmektedir. Hesaplamalar ise saatlik olarak yapılmıştır. Kışın soğutma sisteminin gece elektrik tüketimi daha fazladır. Gündüz ise elektrik üretimi fazladır. Bu sebeple Şekil 4.7’de görüldüğü üzere kış döneminde iklimlendirme sisteminin elektrik ihtiyacı %100 panellerden karşılanamamıştır. Fakat Şekil 4.8’de görüldüğü üzere akülerde depolanamayan ihtiyaç fazlası elektrik gün içerisinde evin iklimlendirme sistemi dışındaki ihtiyacı karşılamak üzere kullanılmıştır.

Bu çalışmada elektrik kesintisinin ortalama 6 saat olması sebebi ile otonomi süresi 0,25 gün olarak alınmıştır. Otonomi süresinin farklı değerleri için, şebekeden alınan elektrik oranındaki ve sistem maliyetindeki değişim Çizelge 4.6’da görülmektedir.

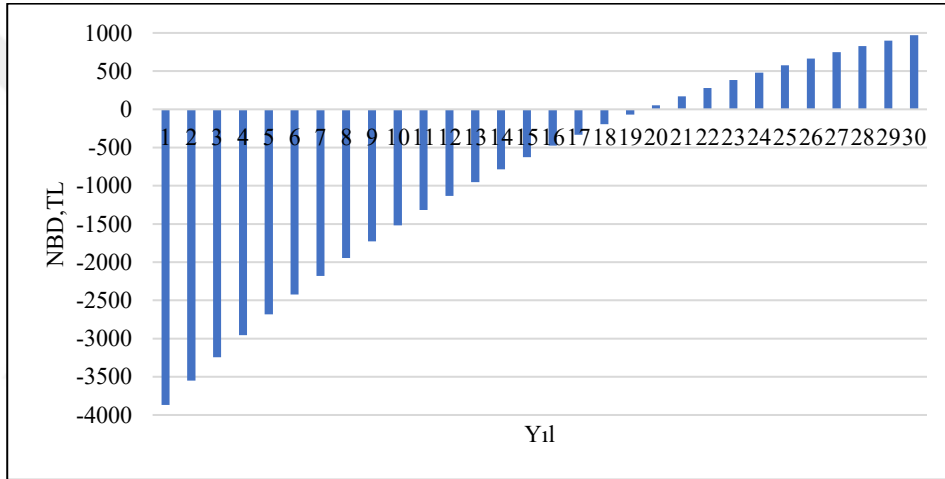
**Çizelge 4.7** Otonomi süresinin sistem performansı ve maliyetine etkisi.

	Otonomi süresi, gün		
	0,25	0,50	1,00
İklimlendirme sisteminin elektrik tüketimi, kWh/yıl	5942	5942	5942
PV sisteminin elektrik üretimi	5930	5930	5930
Şebekeden alınan elektrik, kWh/yıl	2922	2544	2056
PV’den alınan elektrik, kWh/yıl	3021	3398	3887
Topraklanan elektrik, kWh/yıl	3043	2656	2164
Sistem maliyeti	4209	4547	5224

Çizelge 4.8’da görüldüğü üzere otonomi süresi akü sayısını ve dolayısıyla sistem maliyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Şebekeden alınan elektrik ise aynı oranda etkilenmemektedir.

#### 4.6. Ekonomik analiz

Fotovoltaik sistemde üretilen ihtiyaç fazlası elektriğin evin diğer evsel cihazları tarafından kullanılması durumunda sistemin geri ödeme süresi 20 yıl olarak hesaplanmıştır. Sistem maliyetinin geri ödeme süresini gösterir NBD’in değişimi şekil 4.9’da görülmektedir.



Şekil 4.9 Net bugünkü değerın yıllara göre değışimi

Kerkük’te şebekeye elektrik satılamaması ve elektrik kesintileri sebebi ile sistemde akü eklenmesi sebepleri ile sistemin geri ödeme süresi yüksek çıkmıştır. Sistemin ömrü ile geri ödeme süresi neredeyse aynı hesaplanmıştır. Bu durumda sistemin kurulumu maliyet açısından uygun görülmesi dahi elektrik kesintileri sırasında evin enerji ihtiyacının karşılanması sebebi ile konfor açısından uygun görülmüştür.

## 5. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada konut amaçlı kullanılmakta olan müstakil bir evde sıcaklık ve hareket sensörü kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Bir fotovoltaik panelin elektrik üretim verisi kullanılarak radyasyon miktarı hesaplanmıştır. Bir ay süresince veri toplanmıştır ve yılın kalan ayları için hareket sensöründen elde edilen verilerin aynı olduğu varsayılmıştır ve doğrusal olmayan programlama (Nonlinear programming) ile optimizasyon yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda evin normal iç ortam sıcaklığı kışın 22 °C yazın 27°C iken evin iklimlendirme sisteminin enerji tüketimi 5.942 (kWh/yıl) olarak hesaplanmıştır. İklimlendirme sisteminin enerji tüketiminin % 42'si (2519 kwh/yıl) ısıtmadan, kalanı ise soğutma sisteminden kaynaklanmaktadır. Konutta insan bulunmayan odaların iç ortam sıcaklığının kışın 2, 3 ve 4 °C azaltılması, yazın da arttırılması yıllık toplam enerji tüketimini sırasıyla % 11, % 16 ve % 21 azaltmıştır. Binanın optimum ısı iletkenlik değeri dış duvarı için 0,4 (W/m<sup>2</sup>K) pencere için 0,71 (W/m<sup>2</sup>K) olarak hesaplanmıştır. Binada optimum ısı iletkenlik değerine sahip dış cephe malzemesi kullanılması durumunda binanın iklimlendirme sisteminin enerji tüketiminin % 53 azaldığı görülmüştür. Optimum dış cephe malzemesine sahip binada akıllı iklimlendirme sisteminin kullanılması durumunda ise toplam tüketimin 2807 kwh/yıl'dan 2339 kwh/yıl'a azaldığı görülmüştür. İklimlendirme sisteminin yıllık elektrik tüketimini (5.942 kWh/yıl) karşılayacak fotovoltaik sistemin kapasitesi 3 kW olarak hesaplanmıştır. fotovoltaik sisteminin yıllık elektrik üretimi 5930 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. 3 kW kapasiteli, güneğe yönlendirilmiş, zeminle 35 derece açığına sahip fotovoltaik sistemin iklimlendirme sisteminin elektrik ihtiyacını karşılamak amacı ile kullanılması durumunda, PV'den alınan elektrik 3021 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Topraklanan elektrik 3043 kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. PV+akü sisteminin toplam maliyetinin 4209 \$ olduğu hesaplanmıştır.

## KAYNAKLAR

- Al-Ali, A.-R., Zualkernan, I. A., Rashid, M., Gupta, R. ve AliKarar, M. J. I. T. o. C. E., 2017, A smart home energy management system using IoT and big data analytics approach, 63 (4), 426-434.
- Alilou, M., Tousi, B. ve Shayeghi, H. J. S. E., 2020, Home energy management in a residential smart micro grid under stochastic penetration of solar panels and electric vehicles, 212, 6-18.
- arma.org.au, 2017, fundamentals-of-refrigeration-thermodynamics, <https://www.arma.org.au/wp-content/uploads/2017/03/fundamentals-of-refrigeration-thermodynamics.pdf>:
- Aziz, A. S., Tajuddin, M. F. N., Adzman, M. R., Mohammed, M. F. ve Ramli, M. A. J. E., 2020, Feasibility analysis of grid-connected and islanded operation of a solar PV microgrid system: A case study of Iraq, 191, 116591.
- Baker, D., 2020, ME 496 P2.1 PV Model.
- Baraka, K., Ghobril, M., Malek, S., Kanj, R. ve Kayssi, A., 2013, Low cost arduino/android-based energy-efficient home automation system with smart task scheduling, 2013 *Fifth international conference on computational intelligence, communication systems and networks*, 296-301.
- baymak, 2023, <https://www.baymak.com.tr/urunler/yenilenebilir-enerji-sistemleri/isi-pompalari/iotherm-hava-kaynakli-monoblok-inverter-isi-pompasi>:
- Bernal-Aguştin, J. L. ve Dufo-López, R. J. R. e., 2006, Economical and environmental analysis of grid connected photovoltaic systems in Spain, 31 (8), 1107-1128.
- Bhide, V. H. ve Wagh, S., 2015, i-learning IoT: An intelligent self learning system for home automation using IoT, 2015 *international conference on communications and signal processing (iccsp)*, 1763-1767.
- Bicakci, S., Gunes, H. J. S. M. P. ve Theory, 2020, Hybrid simulation system for testing artificial intelligence algorithms used in smart homes, 102, 101993.
- Bing, K., Fu, L., Zhuo, Y. ve Yanlei, L., 2011, Design of an Internet of Things-based smart home system, 2011 *2nd International Conference on Intelligent Control and Information Processing*, 921-924.
- Blondelle, G., Arberet, P., Rossignol, A., Lundell, B., Labezin, C., Berrendonner, R., Gauffillet, P., Faudou, R., Langlois, B. ve Maisonobe, L., 2012, Polarsys towards long-term availability of engineering tools for embedded systems, *Embedded Real Time Software and Systems (ERTS2012)*.
- Blowey, J., Craig, A. ve Shardlow, T., 2003, *Frontiers in numerical analysis: Durham 2002*, Springer Science & Business Media, p.
- Borges, K. J. S. J. S., 2010, LibreOffice Para Leigos: Facilitando a vida no escritório.
- Bosomworth, D. J. L. S. I. L., 2015, *Mobile marketing statistics 2015*.
- Bradley, H., and Magnanti, 1977, *Applied Mathematical Programming*, p.
- Brush, A. B., Lee, B., Mahajan, R., Agarwal, S., Saroiu, S. ve Dixon, C., 2011, Home automation in the wild: challenges and opportunities, *proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2115-2124.
- Bui, K. H. N., Agbehadji, I. E., Millham, R., Camacho, D. ve Jung, J. J. J. E. S., 2020, Distributed artificial bee colony approach for connected appliances in smart home energy management system, 37 (6), e12521.
- Carli, R. ve Dotoli, M., 2014, Energy scheduling of a smart home under nonlinear pricing, *53rd IEEE Conference on Decision and Control*, 5648-5653.
- Chen, C. Y., Fu, J. H., Sung, T., Wang, P.-F., Jou, E. ve Feng, M.-W., 2014, Complex event processing for the internet of things and its applications, 2014 *IEEE*

- International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, 1144-1149.
- Chen, S., Liu, T., Gao, F., Ji, J., Xu, Z., Qian, B., Wu, H. ve Guan, X. J. I. C. M., 2017, Butler, not servant: A human-centric smart home energy management system, 55 (2), 27-33.
- Corne, D., Dorigo, M., Glover, F., Dasgupta, D., Moscato, P., Poli, R. ve Price, K. V., 1999, *New ideas in optimization*, McGraw-Hill Ltd., UK, p.
- DS3231, A. a., Arduino and DS3231 Real Time Clock Tutorial web sitesi, <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/arduino-ds3231-real-time-clock-tutorial/>:
- Crawleu, D. ve Lawrie, L. J. h. s. c. o. o. d. h., 2019, Climate. OneBuilding. Org.
- Eltresy, N. A., Dardeer, O. M., Al-Habal, A., Elhariri, E., Abotaleb, A. M., Elsheakh, D. N., Khattab, A., Taie, S. A., Mostafa, H. ve Elsadek, H. A. J. J. o. S., 2020, Smart home IoT system by using RF energy harvesting, 2020.
- Gaikwad, P. P., Gabhane, J. P. ve Golait, S. S., 2015, A survey based on Smart Homes system using Internet-of-Things, *2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, 0330-0335.
- Galinina, O., Mikhaylov, K., Andreev, S., Turlikov, A., Koucheryavy, Y. J. E. J. o. W. C. ve Networking, 2015, Smart home gateway system over Bluetooth low energy with wireless energy transfer capability, 2015 (1), 1-18.
- Gonçalves, I., Gomes, Á. ve Antunes, C. H. J. A. E., 2019, Optimizing the management of smart home energy resources under different power cost scenarios, 242, 351-363.
- Hadi Al-Samarraei, Y. S., 2018, Smart home design with IoT (Home automation).
- Hammouda, I., Lundell, B., Mikkonen, T. ve Scacchi, W., 2012, *Open Source Systems: Long-Term Sustainability*, Springer, p.
- Hendricks, D. J. I. E. W., 2014, The history of smart homes.
- Hossain, M. S., Rahman, M. A., Muhammad, G. J. J. o. P. ve Computing, D., 2017, Cyber-physical cloud-oriented multi-sensory smart home framework for elderly people: An energy efficiency perspective, 103, 11-21.
- Hrstka, O. ve Kučerová, A. J. A. i. E. S., 2004, Improvements of real coded genetic algorithms based on differential operators preventing premature convergence, 35 (3-4), 237-246.
- Hsu, Y.-L., Chou, P.-H., Chang, H.-C., Lin, S.-L., Yang, S.-C., Su, H.-Y., Chang, C.-C., Cheng, Y.-S. ve Kuo, Y.-C. J. S., 2017, Design and implementation of a smart home system using multisensor data fusion technology, 17 (7), 1631.
- Huang, Z., Lin, K.-J., Yu, S.-Y. ve Hsu, J. Y.-j. J. J. o. I. i. D. E., 2014, Co-locating services in IoT systems to minimize the communication energy cost, 1 (1-2), 47-57.
- INA219, INA219 current sensor web sitesi, <https://www.electronicclinic.com/ina219-current-sensor-with-arduino-circuit-and-code-explained/>:
- JANABI, M. A. M. A., 2018, Design and implementation of smart home model using solar energy *University of Gaziantep*, 68.
- Jiang, Y., Liu, X. ve Lian, S., 2016, Design and implementation of smart-home monitoring system with the Internet of Things technology, In: *Wireless Communications, Networking and Applications*, Eds: Springer, p. 473-484.
- Keskintürk, T. J. İ. T. Ü. F. B. D., 2006, Diferansiyel gelişim algoritması, 5 (9), 85-99.
- Khan, M., Silva, B. N. ve Han, K. J. I. A., 2016, Internet of things based energy aware smart home control system, 4, 7556-7566.

- Kim, J. Y., Lee, H.-J., Son, J.-Y. ve Park, J.-H., 2015, Smart home web of objects-based IoT management model and methods for home data mining, *2015 17th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS)*, 327-331.
- Krall, L. A. C., Pueblo. , 2011, General Solar Position Calculations.
- Lee, C., Zappaterra, L., Choi, K. ve Choi, H.-A., 2014, Securing smart home: Technologies, security challenges, and security requirements, *2014 IEEE Conference on Communications and Network Security*, 67-72.
- Madakam, S. ve Ramaswamy, R., 2014, Smart homes (conceptual views), *2014 2nd International Symposium on Computational and Business Intelligence*, 63-66.
- Marco, S., Squartini, S., Surace, G. P. ve Piazza, F., 2014, Smart home task and energy resource scheduling based on nonlinear programming, In: *Recent Advances of Neural Network Models and Applications*, Eds: Springer, p. 175-185.
- Matsui, T., Kato, K., Sakawa, M., Uno, T. ve Morihara, K., 2008, Nonlinear programming based on particle swarm optimization, In: *Advances in Industrial Engineering and Operations Research*, Eds: Springer, p. 173-183.
- Michalewicz, Z., 1992, Genetic Algorithms Data Structure, *Evolution Programs*, Springer, New York.
- Moser, K., Harder, J. ve Koo, S. G., 2014, Internet of things in home automation and energy efficient smart home technologies, *2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 1260-1265.
- Murthy, P. R., 2007, Operations Research, *NEW AGE INTERNATIONAL (P) LIMITED, PUBLISHERS*
- Pandey, S., Paul, A. ve Chanu, L. J., 2015, Life-cycle tracking system of home automation devices (LED Bulbs), *2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT)*, 1582-1585.
- Paredes-Valverde, M. A., Alor-Hernández, G., García-Alcaráz, J. L., Salas-Zárate, M. d. P., Colombo-Mendoza, L. O. ve Sánchez-Cervantes, J. L. J. C. I., 2020, IntelliHome: An internet of things-based system for electrical energy saving in smart home environment, 36 (1), 203-224.
- Photoresistor, Photoresistor web sitesi, <https://eepower.com/resistor-guide/resistor-types/photo-resistor/#:~:text=What%20are%20Photoresistors%3F,to%20measure%20the%20light%20intensity:>
- Salman, L., Salman, S., Jahangirian, S., Abraham, M., German, F., Blair, C. ve Krenz, P., 2016, Energy efficient IoT-based smart home, *2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 526-529.
- Samuel, S. S. I., 2016, A review of connectivity challenges in IoT-smart home, *2016 3rd MEC International conference on big data and smart city (ICBDSC)*, 1-4.
- Shamszaman, Z. U., Lee, S. ve Chong, I., 2014, WoO based user centric Energy Management System in the internet of things, *The International Conference on Information Networking 2014 (ICOIN2014)*, 475-480.
- Siswipraptini, P. C., Aziza, R. N., Sangadji, I. ve Indrianto, I., 2020, The design of a smart home controller based on ADALINE.
- solarenerjial, [https://solarenerjial.com/?i=urun&stok\\_kodu=3146497214-4564&gclid=Cj0KCQIA\\_bieBhDSARIsADU4zLeoheBqqJ0SJUL781ymVygmDOyfl9dk8iSHdv5AJKr9fAsDefVcWJAaAry7EALw\\_wcB:](https://solarenerjial.com/?i=urun&stok_kodu=3146497214-4564&gclid=Cj0KCQIA_bieBhDSARIsADU4zLeoheBqqJ0SJUL781ymVygmDOyfl9dk8iSHdv5AJKr9fAsDefVcWJAaAry7EALw_wcB:)
- Souza, A. T., Canha, L. N., Milbradt, R. G., Lemos, C. L., Michels, C. ve Santana, T. A. S., 2020, A Smart Home system using Artificial Intelligence and integration with Energy Storage and Microgeneration, *2020 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, 1-5.



- baymak, 2023, <https://www.baymak.com.tr/urunler/yenilenebilir-enerji-sistemleri/isi-pompalari/iotherm-hava-kaynakli-monoblok-inverter-isi-pompasi>:
- Corne, D., Dorigo, M., Glover, F., Dasgupta, D., Moscato, P., Poli, R. ve Price, K. V., 1999, *New ideas in optimization*, McGraw-Hill Ltd., UK, p.
- Crawleu, D. ve Lawrie, L. J. h. s. c. o. o. d. h., 2019, *Climate. OneBuilding. Org.*
- Hrstka, O. ve Kučerová, A. J. A. i. E. S., 2004, Improvements of real coded genetic algorithms based on differential operators preventing premature convergence, 35 (3-4), 237-246.
- Keskintürk, T. J. İ. T. Ü. F. B. D., 2006, Diferansiyel gelişim algoritması, 5 (9), 85-99.
- Michalewicz, Z., 1992, *Genetic Algorithms Data Structure, Evolution Programs, Springer, New York.*
- Storn, 2001, <http://www.icsi.berkeley.edu/~storn/code.html>:
- Storn, R. ve Price, K. J. J. o. g. o., 1997, Differential evolution-a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces, 11 (4), 341.
- Tastan, 2019, Internet of things based smart energy management for smart home, 13 (6), 2781-2798.
- Tian, C., Chen, X., Guo, D., Sun, J., Liu, L. ve Hong, J., 2015, Analysis and design of security in Internet of things, *2015 8th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics (BMEI)*, 678-684.
- Tomov, 2021, Multilayer perceptron fast prototyping with differential evolution and particle swarm optimization in libreoffice calc, 75, 5-14.
- Trincherio, D., Stefanelli, R., Brunazzi, D., Casalegno, A., Durando, M. ve Galardini, A., 2011, Integration of smart house sensors into a fully networked (web) environment, *SENSORS, 2011 IEEE*, 1624-1627.
- Turkish Standard, T., 2013, 825 Thermal insulation requirements for buildings, December.
- Ven, K., Mannaert, H. J. I. ve Technology, S., 2008, Challenges and strategies in the use of open source software by independent software vendors, 50 (9-10), 991-1002.
- Zanjal, S. V. ve Talmale, G. R. J. P. C. S., 2016, Medicine reminder and monitoring system for secure health using IOT, 78, 471-476.
- Zhang, Q., Chen, Z. ve Zhang, P., 2012, Internet of Things applied in the home-based caring system for the aged, In: *Advances in Electronic Commerce, Web Application and Communication*, Eds: Springer, p. 467-471.
- Zhang, Z., Wang, J., Zhong, H., Ma, H. J. S. ve Environment, T. f. t. B., 2020, Optimal scheduling model for smart home energy management system based on the fusion algorithm of harmony search algorithm and particle swarm optimization algorithm, 26 (1), 42-51.
- 4835/24, *Ansari Road, Daryaganj, New Delhi - 110002*, p.
- Zhang, Z., Wang, J., Zhong, H., Ma, H. J. S. ve Environment, T. f. t. B., 2020, Optimal scheduling model for smart home energy management system based on the fusion algorithm of harmony search algorithm and particle swarm optimization algorithm, 26 (1), 42-51.