T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AKILLI EVLERDE CİHAZLARIN ENERJİ GEREKSİNİMLERİNE GÖRE ENERJİ KAYNAĞININ SEÇİLMESİ VE TÜKETİMİN TAHMİN EDİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

REZZAN NİSA ER

Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi BORA UĞURLU

ÇANAKKALE – 2021

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AKILLI EVLERDE CİHAZLARIN ENERJİ GEREKSİNİMLERİNE GÖRE ENERJİ KAYNAĞININ SEÇİLMESİ VE TÜKETİMİN TAHMİN EDİLMESİ

YÜKSEK LİSANS YETERLİK TEZİ

REZZAN NİSA ER

Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi BORA UĞURLU

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi tarafından desteklenmiştir.
Proje No: FHD-2020-3381

ÇANAKKALE – 2021

T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Rezzan Nisa ER tarafından Dr. Öğr. Üyesi Bora UĞURLU yönetiminde hazırlanan ve **24/06/2021** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan "**Akıllı Evlerde Cihazların Enerji Gereksinimlerine Göre Kaynağının Seçilmesi ve Tüketimin Tahmin Edilmesi**" başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Dr. Öğr Üyesi Bora UĞURLU (Danışman)	……
Prof. Dr. İsmail KADAYIF	……
Dr. Öğr. Üyesi Murat Olcay ÖZCAN	…….

Tez No : ……..

Tez Savunma Tarihi : 24/06/2021

……

Prof. Dr. PELİN KANTEN

Enstitü Müdürü

../../2021

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları' na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

(İmza)
Rezzan Nisa ER
24/06/2021

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Bora UĞURLU başta olmak üzerere, Ögr. Gör. Utku Bayram hocama ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen hayatımın her evresinde bana destek olan çok kıymetli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Rezzan Nisa ER

Çanakkale, Haziran 2021

ÖZET

AKILLI EVLERDE CİHAZLARIN ENERJİ GEREKSİNİMLERİNE GÖRE ENERJİ KAYNAĞININ SEÇİLMESİ VE TÜKETİMİN TAHMİN EDİLMESİ

Rezzan Nisa ER
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Bora UĞURLU
24/06/2021, 55

Nesnelerin interneti teknolojisi gelişerek yaygınlaşmasından bu yana akıllı evlerde kullanılan cihazların sayısında ve bununla beraber elektrik tüketiminde de artış meydana gelmiştir. Kullanıcının artan elektrik talebini karşılaması için güneş enerjisi ile desteklenen prototip bir sistem geliştirdik. Bu sisteme göre cihazlar; şebeke ve güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Cihazların güç tüketim seviyelerine göre hangi kaynaktan besleneceğinin kararı verilir. Yüksek seviyede güç tüketen cihazlar şebeke ile beslenirken düşük güç gereksinimleri olanlar bataryadan beslenirler. Bu sistemde bataryanın durumu da takip edilir, belli bir seviyenin altına inmediği müddetçe sistemin enerji kaynağı olarak görevini sürdürür aksi halde düşük güç tüketen cihazlar da şebekeden beslenir. Geliştirilen sistemimizde cihazların güç ve enerji tüketimi, batarya, şebeke voltaj seviyeleri, akım gibi tüm sistemle ilgili dinamik veriler her 15 saniyede ThingSpeak üzerinden buluta gönderilmektedir. Bu veriler gelecekteki güç ve enerjiyi tahmin etmek için kullanılır. Bu tahminler için Polinomsal Lineer Regresyon ve LSTM yöntemini kullandık. Tahmin için doğrusal verilerde Polinomsal Lineer Regresyon, LSTM yöntemine göre az bir farkla daha başarılı iken doğrusal olmayan verilerde LSTM çok daha başarılı sonuçlar elde etmiştir. Enerji tüketim için tahminlemede en yüksek doğruluk oranı, 0 ve 1 arasında değer alan Polinomsal Lineer Regresyon ile 0,99 değeri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin İnterneti, Gömülü Sistemler, Uç Hesaplama, Bulut Bilişim, Derin Öğrenme

ABSTRACT

SELECTING THE ENERGY SOURCE OF THE DEVICES IN SMART HOMES ACCORDING TO THE THEIR ENERGY REQUIREMENTS AND ESTIMATING THE CONSUMPTION

Rezzan Nisa ER
Çanakkale Onsekiz Mart University
School of Graduate Studies
Master of Science Thesis in Animal Science
Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Bora UĞURLU
24/06/2020, 55

Since the Internet of Things technology has developed and become widespread, there has been an increase in the number of devices used in smart homes, as well as in electricity consumption. We developed a prototype system powered by solar energy to meet the user's increasing electricity demand. According to this system, devices work with the electrical energy obtained from the grid and solar panels. Energy sources of devices are determined based on the amount of power they require. While devices with high power consumption demands are fed by the grid, those with low power consumption requirements are fed from the battery. In this system, the status of the battery is also monitored, as long as it does not fall below a certain level. It continues to function as the energy source of the system; otherwise, low power consumption devices are also fed from the grid. In our developed system the dynamic data related to whole system such as the power and energy consumption of the devices, battery, grid voltage levels, and current are sent to the cloud via Thingspeak in every 15 seconds. These data are used to estimate the future power and energy. To do this, we used Polynominal Linear Regression and LSTM method. Polynomial Linear Regression in linear data for forecasting is slightly better than the LSTM method, while LSTM has achieved much more successful results in nonlinear data. The highest accuracy rate in estimation for energy consumption, a value like 0.99 was obtained with Polynomial Linear Regression that takes a value between 0 and 1.

Keywords: Internet of Things, Embedded Systems, Edge Computing, Cloud Computing, Deep Learning

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI……..……... ii
ETİK BEYAN…… iii
TEŞEKKÜR…….. iv
ÖZET ……..…….…….. v
ABSTRACT …….. vi
İÇİNDEKİLER ……..…… viii
SİMGELER ve KISALTMALAR…….....……. x
TABLOLAR DİZİNİ…….…. xii
ŞEKİLLER DİZİNİ……..……...…….….. xiii

BİRİNCİ BÖLÜM
GİRİŞ 1

1.1. Endüstri 4.0 Nesnelerin İnterneti ...…….…….. 2
1.2. Akıllı Evlerde Enerji ....……..... 4
1.2.1. Akıllı Ev ……...……... 4
1.2.2. Enerji ……. 6
1.3. Ülkemizde Güneş Enerjisi ….……... 7
1.4. Güneş Panelleri (Fotovoltaik) ……... 9
1.4.1. Güneş Enerjisi Kullanım Avantajları…… 10
1.4.2. Güneş Enerjisi Kullanım Dezavantajları…….. 11
1.4.3. Güneş Panelleri Depolama Sistemi Kurşun Asit Batarya ……. 13

İKİNCİ BÖLÜM
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 15

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
MATERYAL YÖNTEM 19

3.1. Mimari Yapı ……..... 19
3.1.1. Donanım Katmanı ……..… 20
3.1.2. Yazılım Katmanı……..……..….. 24
3.2. Gelecek Verilerin Tahmini…….....…….... 29
3.2.1. Lineer Regresyon …… 29
3.2.2. Çoklu Lineer Regresyon .....…….. 30
3.2.3. Polinomsal Regresyon …… 31
3.2.4. LSTM ……... 32
3.2.5. Performans Ölçü Metrikleri ……. 35

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA BULGULARI 37

4.1. Elde Edilen Veriler ve Tahmin Sonuçları ….....……...…….....…… 37
4.2. Tahmin Sonuçlarının Doğruluk Oranı …..…...…….....…….….... 45

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ ve ÖNERİLER 48

KAYNAKÇA ...……. 49
EKLER ……..……. I
ÖZGEÇMİŞ ….……..... II

SİMGELER VE KISALTMALAR

AC	Alternatif akım
API	Uygulama program arayüzü
DC	Doğru akım
DNN	Derin Sinir Ağı
EJ	Exajoule
H_2	Hidrojen gazı
H_2O	Su
HEDS	Hibrit enerji depolama sistemi
I/O	Giriş / çıkış birimi
IDE	Entegre geliştirme ortamı
IHD	Ev tüketici ekranı
IoT	Nesnelerin İnterneti
J	Joule
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt saat
LSTM	Kısa uzun zamanlı hafıza
MSE	Ortalama kare hata
MW	Megawatt
NILM	müdahaleci olmayan yük izleme
O_2	Oksijen
Pb	Kurşun
$PbSO_2$	Kurşun dioksit
$PbSO_4$	Kurşun sülfat
PV	Fotovoltaik
R^2	Belirleme katsayısı
RFID	Radyo Frekans Tanıma
RMSE	Ortalama kare hata karekökü
RNN	Özyinelemeli sinir ağı
SSR	En küçük kareler metodudur
SST	Tüm kareler toplamı
TTL	Transistör – transistör mantığı

TWh/yıl	Terawatt saat yıllık olarak
V	volt
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
W	watt

TABLOLAR DİZİNİ

		Sayfa No
Tablo 1	Ülkelere göre dünyadaki güneş enerjisi kurulu gücü listesi	9
Tablo 2	Yük olarak kullanılan cihazların güç tüketimi	21
Tablo 3	LSTM hücresindeki fonksiyonların görevleri	33
Tablo 4	Polinomsal Lineer Regresyon için R^2 (belirleme katsayıları) değerleri	45
Tablo 5	En iyi R^2 sonucunu veren n değerleri	46
Tablo 6	Güç ve enerji verilerinin LSTM' deki döngü sayısı ve buna bağlı rmse değerleri	46
Tablo 7	Polinomsal Lineer Regresyon yönteminin rmse değerleri (güç ve enerji verileri için)	47
Tablo 8	LSTM ve Polinomsal Lineer Regresyon için en düşük rmse değerleri	47

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1	Güneş panel ve şebeke entegreli bir akıllı ev	7
Şekil 2	Yıllara göre Türkiye'deki güneş enerjisi kurulu gücü ve üretimi	8
Şekil 3	PV hücreleri bir araya gelerek PV modüllerini oluştururlar	10
Şekil 4	Ev için güneş panelleri	13
Şekil 5	Sistem mimarisi	19
Şekil 6	Donanım katmanını oluşturan elemanlar	22
Şekil 7	NodeMCU' nun yapısı	23
Şekil 8	NodeMCU üzerinde çalışan algoritma	24
Şekil 9	ThingSpeak' te kanalların görünümü	26
Şekil 10	Verilerin ThingSpeak' te anlık görünümü	27
Şekil 11	Lineer bir doğrunun grafiği ve denklemi	30
Şekil 12	Polinom eğrisi grafiği ve denklemi	32
Şekil 13	LSTM hücresinin yapısı	33
Şekil 14	En küçük kareler yöntemi ve ε hata kavramı	35
Şekil 15	Cihazlardan elde edilen veriler (güç ve enerji)	38
Şekil 16	Cihazlardan elde edilen veriler (batarya ve şebeke gerilim)	39
Şekil 17	Cihazlardan elde edilen veriler (akım)	40
Şekil 18	Polinomsal Lineer Regresyon sonucu oluşan tahmin modelleri (güç ve enerji)	41
Şekil 19	Polinomsal Lineer Regresyon sonucu oluşan tahmin modelleri (batarya ve şebeke gerilim)	42
Şekil 20	Polinomsal Lineer Regresyon sonucu oluşan tahmin modelleri (akım)	43
Şekil 21	Güç ve enerji tüketim değerlerinin LSTM ile eğitilmesiyle elde edilen model	44

BİRİNCİ BÖLÜM
GİRİŞ

Toplumların elektrik enerjisine duymuş oldukları ihtiyaç sanayi ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte her geçen gün artmaktadır. Sanayi ve gündelik hayattaki sayısallaşma ve teknolojik gelişmeler bu talebin hızla artacağını göstermektedir. (IEA, 2020). Böyle bir senaryo içerisinde var olan elektriğin verimli kullanımı ve ucuza üretilmesi oldukça önemlidir. Petrol ve kömür gibi fosil yakıtların gündelik hayatta ulaşım, ısınma gibi alanlarda kullanılmasının yanı sıra artan elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için de bu kaynaklardan yararlanılması çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu sorunların en başında ise sera gazı emisyonlarının yol açtığı küresel ısınma sorunudur. Isınma beraberinde iklim değişikliğini getirmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2020'de yayınlamış olduğu 2018 yılına ait olan enerji tüketiminin kaynaklar bazında dağılımına bakıldığında petrol %40, doğalgaz %16.2, bio-yakıtlar %10.2, elektrik %19.3, kömür %10, diğer türdeki kaynaklar %3.5 düzeyindedir. Geçmişe bakıldığında (1973) ise petrol %48.2, doğalgaz %14, bio-yakıtlar %13.1, elektrik % 9.4, kömür %13.6 ve diğer türdeki yakıtlar %1.7'dir. Petrol ve gaz kaynaklarındaki arzın ise 2030 yılına kadar düşeceği öngörülmektedir. Güneş, rüzgâr, su dalgası, jeotermal enerji gibi kaynaklar yenilebilir enerji kaynaklarının en önde gelenlerindendir. Yenilebilir kaynakların içerisinde elektrik enerjisinin üretilmesine en büyük katkı güneş fotovoltaiklerinden gelmektedir. Diğer önemli katkılar ise sırasıyla rüzgâr ve sudan gelmektedir (IEA, 2020). 2050 yılında 2005 yılına kıyasla dünyanın enerjiye olan talebinin daha az olacağını öngören Ecofys, bunun altında yatan nedenin kapsamlı enerji tasarruf politikaları, daha verimli çalışabilen cihazlar ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yoğun bir şekilde kullanılması olduğunu belirtmiştir (Singer, vd., 2017). Bütün bu veriler ışığında artan elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmek için yenilenebilir kaynaklardan yararlanılması ve ek olarak elektrik enerjisinin verimli bir şekilde kullanılması ele alınması gereken kavramlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tez çalışmasında bu iki kavram doğrultusunda evlerde kullandığımız şehir şebekesi, geliştirilen sistem sayesinde güneş fotovoltaikleri ile desteklenmiştir. Geliştirilen sistemde, iki farklı kaynak ile bir evin ihtiyaç duyabileceği elektriksel enerji sağlanmıştır. Şehir şebekesi bunlardan ilki olurken diğeri ise bataryadır (güneş enerjisi ile şarj edilir). Mikrodenetleyici ile kaynaklar arasındaki geçiş gerçekleştirilmektedir. Böylelikle ev ve/veya ofis kullanıcısının enerji maliyetleri düşürülürken bununla birlikte kullanım

alışkanlıklarına göre gelecekteki enerji ihtiyaçların yönelik tahminler yapılmıştır. LSTM ve Polinomsal Lineer Regresyon yöntemlerine tahmin için başvurulmuştur. RMSE metriğini kullanarak bu yöntemlerden hangisinin daha az hata ile tahmin yaptığı karşılaştırılmıştır.

1.1. Endüstri 4.0 ve Nesnelerin İnterneti

Endüstri 1.0 makineleşme ile Endüstri 2.0 yüksek elektrik enerjisi kullanımı ile Endüstri 3.0 ise elektronik ve otomasyon ile tanık olunan endüstri devrimleridir. Günümüz ekonomisi ise politik, teknolojik ve sosyal değişimlerle tetiklenen dördüncü sanayi devrimi diğer ismiyle (Shamim, vd., 2016) "Endüstri 4.0" terimi ilk olarak 2011 yılında Alman üretim sektörünü tanımlamak amacıyla kullanılmıştır. Bu endüstriyel çağın potansiyeli, iki yeni teknoloji olan Siber-Fiziksel ve Nesnelerin İnterneti (IoT) kavramlarının birleşimine dayanmaktadır. Gerçek zamanlı verilerin toplanması ve analizi yoluyla üretim teknolojilerinin üretkenliğini önemli oranda artırmayı amaçlamıştır. Bu, karar verme sürecini optimize etmeye yardımcı olmak için IoT' nin her yerde bulunmasını ve bulut bilişimin işleme yetenekleriyle birleştirir (Peralta, vd., 2017). Endüstri 4.0' ın geliştirilmesi, mega şehirlerdeki bazı kaynaklar ve enerji verimliliği, kentsel üretim, demografik değişim sorunlarını çözeceği düşünülmüştür (Safiullin, vd., 2019).

Nesnelerin İnterneti ilk ortaya çıktığı andan itibaren gelişmeye devam etmektedir. IoT, farklı teknolojik ve sosyal alanları entegre eden bir uygulama alanıdır. Bu alanlar yazılım ve sistem mimarileri, servisler, uygulamalar, iş modelleri, farklı ekosistemler, güvenlik, gizlilik, sosyal etkileşimler, yönetim olarak sayılabilir (Minerva, vd., 2015). Hayatına, radyo frekansı tanımlama (RFID) teknolojisi ile başladı; temel olarak RFID, nesnelerin bir etiketle (transponder) tanımlanmasını amaçlayan temassız teknoloji olarak ifade edilebilir. Etiketli bu nesneler, IoT' nin nesneler odaklı vizyonunun temelini oluşturur. Farklı bir görüşe göre, nesne odaklı olmasının yanı sıra; internet odaklı ve anlam odaklıdır (Çelikezen, 2020).

IoT, veri toplayabilen özel olarak etiketlenmiş nesneleri, anlamsal yürütme yapabilen kontrol cihazlarını ve insan müdahalesi olmadan ara bağlantıyı mümkün kılan ağ

teknolojisini birleştiren entegre bir sistem olarak tanımlanmaktadır (Çelikezen, 2020) . 1999 yılında ilk kez Kevin Ashton tarafından bir sunumla dile getirilen "Nesnelerin İnterneti" terimine günümüzde sanayi devriminin dördüncü dalgası veya Endüstri 4.0 da denilmektedir. Düşük maliyetli bilgi işlem, bulut, büyük veri, analitik ve mobil teknolojiler sayesinde, fiziksel nesneler verileri paylaşabilir ve toplayabilir. Bağlantılı nesneler arasındaki her etkileşim kaydedilebilir, izlenebilir ve ayarlanabilir bu sayede fiziksel dünya ile dijital dünya buluşarak işbirliği yapar (“Oracle”, t.y.).

IoT, internet üzerinden diğer cihazlara ve sistemlere bağlanmak ve veri alışverişi yapmak amacıyla algılayıcılar, yazılımlar ve diğer teknolojilerle gömülü olan fiziksel nesnelerin oluşturduğu ağı tanımlamaktadır. Son birkaç yılda 21. yüzyılın en önemli teknolojilerinden biri haline gelmiştir. Artık mutfak aletleri, arabalar, termostatlar, bebek monitörleri gibi günlük nesneleri gömülü cihazlar aracılığıyla internete bağlanabildiği için insanlar, süreçler ve nesneler arasında sorunsuz iletişim mümkün hale gelmiştir. Bu nesneler kişisel bilgisayarlar, akıllı telefonlar, tabletler ve akıllı gözetim cihazlarını içermektedir. En büyük taşınabilir cihazlar algılama, hesaplama, akıllı kararlar alma ve internet üzerinden yararlı toplanmış veri ve bilgileri gönderme yeteneğine sahip çeşitli aktüatörleri ve sensörleri kurar. Bu tür makinelerden (nesneler) oluşan bir ağın çeşitli sensörlerle kullanılması, önemli kişisel, ekonomik ve profesyonel avantajlar sağlayabilecek devasa hizmetler ve uygulamaları meydana getirme yeteneğine sahiptir. Bunların çoğu, televizyon gibi daha önce internete erişemediğimiz normal makinelerdir. Bu makinelerin başlarına akıllı kelimesi eklenerek "akıllı cihazlar" denilir "akıllı tv" gibi. Normal bir tv ve akıllı tv arasındaki en büyük fark, akıllı tv'lerin internet üzerinden kontrol edilebilmesi için bir kablosuz ağ bağlantısı **(**Wi-Fi) özelliğinin olmasıdır. Akıllı nesneler genellikle bilgi işlem yeteneği ile yüklenir ve Linux vb. gibi minimize edilmiş işletim sistemi sürümleri içerirler (P. A. Abdalla, 2020).

Akıllı üretim, öngörücü ve önleyici bakım, akıllı şehirler, akıllı güç şebekeleri, bağlantılı ve akıllı lojistik, akıllı dijital tedarik zincirleri IoT' nin yaygın kullanım alanlarındandır bazılarıdır. Sıradan ev eşyalarından sofistike endüstriyel cihazlara kadar çeşitlilik gösteren IoT cihazlarındaki sayının 2025'e kadar ise 22 milyara çıkması

beklenmektedir (“Oracle”, t.y). Günümüzde bu sayının 10 ila 11 milyar olduğu tahmin edilmektedir (Karel, 2020).

1.2. Akıllı Evlerde Enerji

Elektrik talebinin önemli bir kısmı konut sektöründendir. Bu çerçevede, konutlar için enerji talebi tahmini oldukça önemlidir, çünkü konutlarda boşa harcanan elektrik enerjisi şu anda genel enerji talebinin büyük bir kısmını ve bunun sonunda da bütçenin büyük bir kısmını harcamaktadır (S. H. Abdalla, 2019).

1.2.1. Akıllı Ev

Akıllı ev denildiğinde birçok kavram karşımıza çıkmaktadır ve genellikle şöyledir; evdeki teknolojinin yönetimi ve bu yönetim yoluyla konut sakinlerinin ihtiyaçlarını öngören ve bunlara yanıt veren bilgi işlem ve bilgi teknolojisi ile donatılmış bir konut olarak tanımlanabilir (Aldrich, 2003). Stevens’ a göre akıllı ev, farklı cihazları birbirine bağlayan ve bunların uzaktan kontrol edilmesine, izlenmesine ve erişilmesine izin vererek bir iletişim ağı oluşturan evdir (Stevens, 2018).

Binalar için ilk olarak akıllı kelimesi Amerika' da 1980 yılının başlarında kullanılmıştır. 1984 yılında ise Türkiye'de ilk uygulama yapılmıştır ki bu izlemeye yönelik bir uygulama olmuştur (Kongaz, 2007).

Akıllı evler, konfor, sağlık, güvenlik ve enerji tasarrufu için konutlara akıllılığı dahil etmeyi içeren, her yerde bulunan bir bilgi işlem dalı oluşturur. Tüm akıllı evlerin ortak bileşeni olan uzaktan izleme sistemleri ile ev uzaktan kontrol edilebilir. Evde bakıma ihtiyaç duyan hastaları destekleyebilmek amacıyla telekomünikasyon ve web teknolojilerini kullanır. Otomatik cihaz kontrolü hizmetin ile daha iyi bir yaşam kalitesi sunmaktadır. Ev ortamının koşullarını ve önceden tanımlanmış kısıtlamaları kullanarak kullanıcı konforunu optimize ederler. Bir kullanıcı ev cihazlarını uzaktan kontrol ederek, eve gelmeden önce cihazların görevini yerine getirmesini sağlayabilir. Akıllı evleri izleyen ortam zekâsı

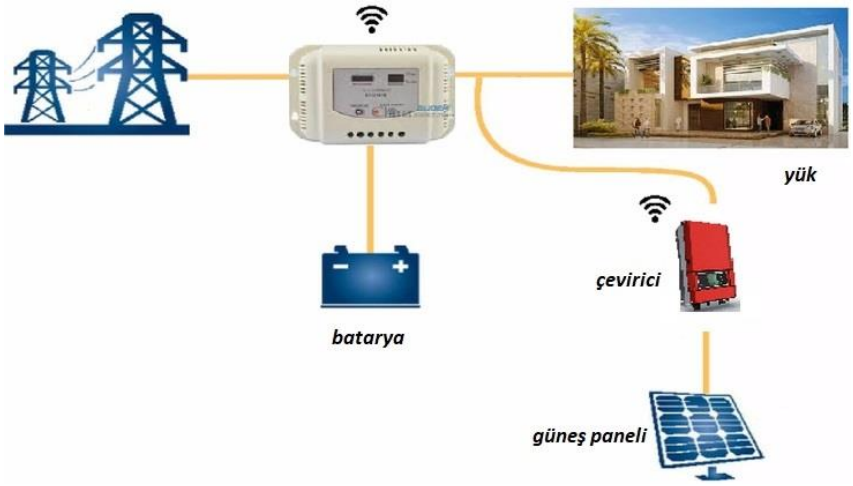
sistemleri evin elektrik kullanımını optimize eder (Alam, vd., 2012). Bir akıllı evin özelliklerine konfor noktasından bakacak olursak; evin ısısını sesli komut ile değiştirebilir ve ışıklar her yerden kontrol edilebilir. Örnek olarak, evdeki kişi tam uykuya dalacakken diğer odanın lambasının açık olduğunu hatırladığında yerinden kalkmadan akıllı ampulleri ve akıllı ışık anahtarlarını kullanarak ışığı kapatabilir. Güvenliğin ön planda olduğu akıllı bir evde, kapılar ve diğer giriş noktaları izlenir, bakıcı ve ona emanet edilen çocuklar kontrol edebilir. Evcil hayvanlar da dahil olduğu bu kontrol, evin çeşitli yerlerine yerleştirilen ve kayıtlarına her an erişebileceğimiz kameralar ile yapılmaktadır. Akıllı evdeki güvenlik sistemleri ile herhangi bir yerden kapıları kontrol ederek kilitleyip açabiliriz. Kapı monitörlerine erişerek kapıdaki kişiyi görülebilir. Yeterince aydınlık değilse ve bu sebeple monitörden net bir görüntü alınamıyorsa aydınlatma kontrolü ile bu durum tersine çevrilebilir. Suç önlemeden fazlası olan güvenlik sistemini için yangın, duman ve karbon monoksit detektörleri dahil edilebilir. Ayrıca hareket algılama, cam kırılma detektörleri, su baskını, donma algılayıcıları, su algılayıcıları, küçük cihaz kontrolleri de kullanılabilir (“Vivint”, 2015). Kontrol edilebilir, programlanabilir ve zeki evler olarak üç ana kategoriye ayrılan akıllı evlerde; ev içindeki teknolojik cihazların kontrolünün sağlandığı evlere, kontrol edilebilir evler denilmiştir. Bu evlere nazaran daha gelişmiş olan programlanabilir evlerde ise basit algılayıcılara ve zamana bağlı tepki verilmektedir. Şöyle ki evdeki ışıkların yanması ve sönmesi eve gelen ışığın seviyesine göre ayarlanır. Zeki evlere baktığımızda ise programlanabilir evler ile benzerlik göstermekle beraber daha gelişmiş olduğunu söylemek gerekir. Zeki evlerin sahip olduğu öğrenme yeteneği sayesinde, programlanabilir evlerin aksine senaryo girişi yapmaya gerek kalmaz. Kurallarını, kendi kendine inceleyerek üretebilirler. Bunun için tek gereken öğrenebilen yazılımlara sahip olmasıdır (Kongaz, 2007).

Tam gelişmiş akıllı ev konsepti, şu anda öngörebileceğimiz teknolojinin zirvesidir. Bir zamanlar sadece bilim kurguda karşılaşılan bu kavram, son on yılda gerçekleşmeye başlamıştır. Gerçek ve kurgu arasındaki uçurum hala geniş olsa da bunun olası sonuçlarını uygun şekilde düşünmeye başlanması önemlidir (Aldrich, 2003). Bu cihazların birbirleriyle her an iletişimde olması ve bunlara istediğimiz zaman erişebilmemiz için cihazların sürekli çalışır halde olması gerekmektedir. Bunun sonucunda karşımıza enerji tüketimi problemi ortaya çıkmaktadır. Her ne kadar bu cihazlar gün geçtikçe daha az enerji tüketmeye doğru

evirilseler de cihaz sayılarındaki artış bu eğimi tekrar tersine çevirmektedir. Bu yüzden akıllı evlerdeki enerji tüketiminin maliyetini azaltmak amacıyla projemizde bu konu üzerinde odaklandık.

1.2.2. Enerji

Genel enerji ihtiyacının bir parçası olarak elektrik enerjisi, günümüz dünyasında toplum için temel bir gereklilik ve sosyo-ekonomik kalkınma için hayati bir varlık haline gelmiştir. Elektriğe erişim herkesin hakkı olmakla beraber bunun için ödeme yapılması gerekir. Böyle bir enerji sınırsız olsaydı tüketiciler, ezber bozan tüketimlerine bakılmaksızın yalnızca sabit aylık ücretler öderlerdi. Ancak, elektrik için birçok birincil enerji kaynağı şu anda sınırlıdır ve görece pahalı olmakla beraber kömür, petrol ve doğalgaz fiyatları her yıl artmaktadır. Güneş ve rüzgâr sınırsız birincil kaynaklardır, ancak enerji içeriklerini tam olarak toplayacak teknolojiler hala gelişmemiş durumdadır. Alternatif olarak, küresel elektrik tüketimi, öncelikle küresel nüfustaki ve ekonomik faaliyetlerdeki artış (özellikle Çin ve Hindistan'da) nedeniyle her yıl artmaya devam etmektedir. Ayrıca, konut sakinlerinin konfor, rahatlık ve esneklik açısından değişen ihtiyaçları nedeniyle yıllık yurt içi enerji tüketiminde istikrarlı bir artış bulunmaktadır. Konut elektrik tüketimleri, toplam ulusal veya bölgesel elektrik enerjisi tüketiminin önemli bir kısmını almaktadır. Bu sektörde artan enerji talebini karşılamak için, birincil enerji dönüşümünden bitmiş ürünlere pragmatik çözümler gerekmektedir. Ev cihazları üreticileri, artan enerji taleplerini azaltmak için cihazların enerji tüketim verimliliğindeki gelişmeleri gerekli bir adım olarak görmektedir. Mimarlar ve inşaat mühendisleri, konut ve ticari binaları enerjide daha verimli hale getirmek için çeşitli araştırmalar yapmaktadır. Enerji güvenliğini ve verimliliğini artırmak için yıllık enerji kullanımına eşit veya bunu aşacak kadar yeterli (yenilenebilir) enerji üretmek olarak tanımlanan, sıfır enerjili binalar (SEB) konsepti ortaya çıkmıştır. Elektrik ister yerel olarak üretilsin ister şebekeden alınsın, hanelerin enerjiyi verimli kullanması oldukça önemlidir (Asare-Bediako, vd., 2012). Şekil 1’ de örnek bir güneş paneli ve şebeke entegreli akıllı ev konsepti görülmektedir.



Şekil 1. Güneş panel ve şebeke entegreli bir akıllı ev
(AlFaris, vd., 2017)

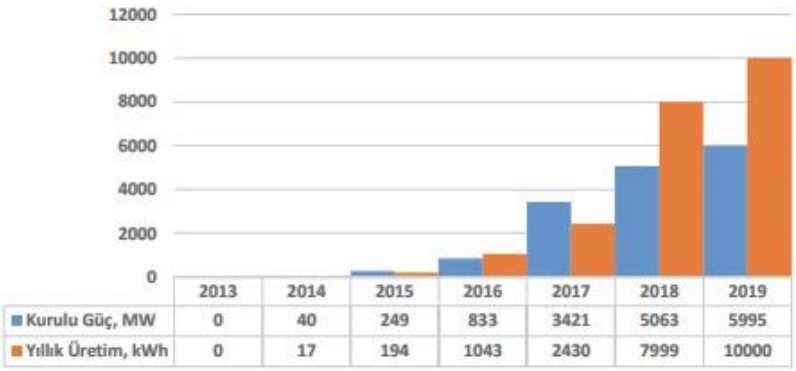
1.3. Ülkemizde Güneş Enerjisi

Yanma esnasında çok büyük miktarlarda karbondioksit yayan fosil yakıtları ile sera gazı meydana gelmektedir ve bu iklim değişikliğine neden olmaktadır (Akay, vd., 2015). Küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine neden olan karbondioksit emisyonunu azaltmak amacıyla yeşil teknolojiler ana araştırma konusu haline gelmiştir.

Güneş, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olduğu ve birçok bölgede yeterli miktarda bulunduğu için en iyi yenilenebilir enerji seçeneklerinden biridir. 90 dakika içinde dünya, güneşten gezegenin enerji ihtiyacını bir yıl süreyle karşılamaya yetecek miktarda enerji alır. Güneş enerjisi ne kadar çok olsa da bu kaynaktan elde edilen enerji, dünyadaki mevcut enerji karışımında küçük bir paya sahiptir. Ancak bu değişmektedir. Dünyanın her yerindeki ülkeler ve şirketler güneş enerjisine büyük miktarda yatırım yapmaktadır ve teknolojiler gelişirken güneş enerjisini kullanmanın maliyeti de zamanla azalmaktadır (Guangul ve Chala, 2019).

2019-2040 yılları arasında tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de güneş ve rüzgâr enerjisinin kullanımının yaygınlaşarak fosil kökenli enerji kaynaklarına olan yönelimin daha

da azalacağı doğrultusunda tahminler yapılmaktadır (Difiglio, vd., 2020). 2014 yılında güneş enerjisi üretimine başlamış olan ülkemiz bu üretimi hızla arttırmıştır, Şekil 2' de görülmektedir. 2014 yılında 40 MW olan kurulu güç santrali, 2019' da 6000 MW' a ulaşarak 10000 kWh enerji üretilmiştir (Ağıralioğlu S. ve Ağıralioğlu N., 2020). Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça zengin olan ülkemizin, özellikle güneş enerjisinin teknik potansiyeli incelendiğinde yaklaşık 190 TWh/yıl olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat bu potansiyel göz önüne alındığında, güneşten yararlanma oranı oldukça düşük seviyededir. (Akusta ve Cergibozan, 2020).



Şekil 2. Yıllara göre Türkiye'deki güneş enerjisi kurulu gücü ve üretimi
(S. Ağıralioğlu ve N. Ağıralioğlu, 2020)

Dünya genelinde ülkelerin güneş enerji santralleri kurulu gücü listesine göre, Türkiye Ağustos 2020 yılında 6.181 MW kurulu güce ulaşarak 13. sırada yerini almıştır, Tablo 1'de görülmektedir. 2019 yılında bu sayı 5995 MW iken ve üretime başlanan 2014 yılından itibaren her yıl istikrarlı bir şekilde görülen bu artış, güneş enerjisi kullanımının yaygınlaşması açısından oldukça önemlidir.

Her yıl yaklaşık 5×10^{24} J enerji güneş tarafından sağlanır ve yeryüzüne çarpar. Bu miktar, tüm dünyanın gerçek yıllık enerji tüketiminin 10.000 katıdır. Mevcut çeşitli sürdürülebilir enerji kaynakları arasında, güneş enerjisi, yıl boyunca bol miktarda güneş ışığı olması ve ayrıca ışık enerjisinin yakalanmasındaki teknolojik gelişmeler nedeniyle en önemli yenilenebilir enerji kaynağı olarak son zamanlarda gelişmiştir. Yıllar içinde, güneş PV güç hücreleri, yalnızca yenilenebilir değil, aynı zamanda güvenli ve kirlilikten arınmış oldukları için güneş enerjisinden yararlanmanın ana kaynağı olmayı başardılar (Mozumder, vd.,).

Tablo 1.

Ülkelere göre dünyadaki güneş enerjisi kurulu gücü listesi

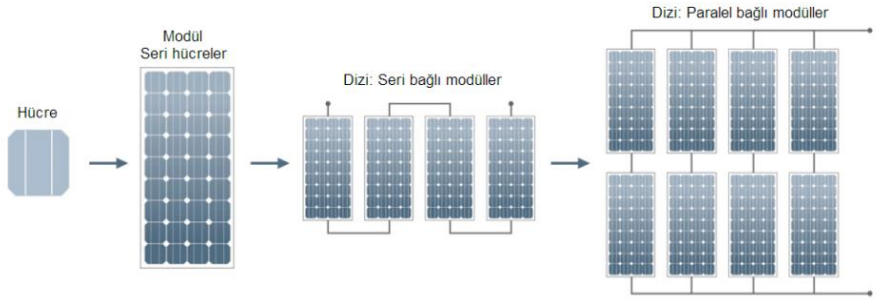
Sıra	Ülke	Güncelleme	Kurulu Güç (MW)
1	Çin	Aralık 2019	204.700
2	ABD	Aralık 2019	75.900
3	Japonya	Aralık 2017	49.000
4	Almanya	Kasım 2018	45.550
5	İtalya	Aralık 2017	19.700
6	Hindistan	Aralık 2017	18.300
7	Birleşik Krallık	Aralık 2017	12.700
8	Güney Kore	Aralık 2019	11.200
9	Fransa	Aralık 2017	8.000
10	Avustralya	Aralık 2017	7.200
11	İspanya	Temmuz 2017	6.730
12	Hollanda	Aralık 2019	6.725
13	Türkiye	Ağustos 2020	6.181
14	Vietnam	Aralık 2019	5.695
15	Belçika	Aralık 2017	3.800

("Enerji Atlası", t.y.)

1.4 Güneş Panelleri (Fotovoltaik)

1970' lerden beri (fotovoltaik) PV modüller ticari olarak mevcuttur. Ancak, önemli kurulum 2001 yılında gerçekleşmiştir. O tarihte, yenilenebilir enerjiler tarafından üretilen elektriği tüm üye devletlere teşvik eden Avrupa Direktifi 2001/77/EC yürürlüğe girmiştir (Gömez, vd., 2012).

Fotovoltaik modüller, güneş ışığını elektriğe dönüştürmek için kullanılan güneş modülleri olarak da bilinir. Güneş modülleri, entegre devrelerle aynıdır ve silikon kristali kullanır. Fotonlar silikon kristal plakaya çarptığında elektrik üretilir (Singh, vd., 2017). Diğer bir deyişle, üzerlerine ışık düştüğünde yarı iletken malzeme elektrik akımı oluşturur. Elde edilmek istenen güç talebine göre PV modülleri birbirine bağlanır ve bu sayede sistem megawattlara kadar çıkabilir ("Genel Mekanik", 2018).



Şekil 3. PV hücrelerinin bir araya gelerek PV modülleri oluşturulması *(Öztürk, 2017)*

1.4.1. Güneş Enerjisi Kullanım Avantajları

Güneş enerjisi, dünyada mevcut sınırsız özgür enerjinin ana kaynaklarından biridir. Güneş enerjisi teorik olarak dünyanın enerji ihtiyacını karşılama kapasitesine sahiptir. Yeryüzüne ulaşan güneş enerjisi miktarı yıllık olarak yaklaşık dört milyon exajoule (1EJ = 10^18J) olarak tahmin edilmektedir ve bunların 5 × 104 EJ' nin kolaylıkla hasat edilebileceği düşünülmektedir. Bu büyük potansiyele ve farkındalığın artmasına rağmen, güneş enerjisinin küresel enerji arzına katkısı hala yeterli düzeyde değildir. Teorik olarak dünyaya gelen güneş enerjisi miktarı, 2035 yılında insan nüfusunun tüketeceği enerjinin 4200 katıdır. Dünya birkaç saat içinde yıllık enerji tüketimini karşılayan güneş enerjisi miktarını alabilir. Bu nedenle, verimli ve etkili bir şekilde güneş enerjisini elde etme kapasitesini geliştirmek, potansiyel olarak dünyanın enerji talebini ek enerji kaynakları gerektirmeden çözebilir. Ne kadar güneş enerjisinin elde edileceği ise konuma bağlıdır. Örneğin Hindistan günde metrekare başına 4-7 KW / saat güneş radyasyonu almaktadır ve bu 365 günün en az 250 gününde gerçekleşmektedir (Guangul ve Chala, 2019).

Güneşten gelen enerji elektrik üretmek için depolanır. Bu yöntem, yenilenemeyen teknolojilere yenilenebilir bir alternatif olarak kabul edilir. Böylelikle güneş enerjisi kullanımı, karbon emisyonlarının olumsuz etkisini büyük ölçüde azaltır. Kaliforniya ABD' de, 113.533 haneye güneş enerji sisteminin kurulması ile ortalama 696.544 metrik ton karbon emisyonu azaltılmıştır. Ayrıca güneş enerjisi çevreye zarar verebilecek diğer zararlı gazları açığa çıkarmaz. Evlerde kullanılan güneş panelleri geri dönüştürülebilir. Böylece, güneş enerjisinin kirletmeyen, güvenilir ve temiz bir enerji kaynağı olduğu sonucuna varılabilir. Güneş enerjisi sisteminin kurulumu her yerde yapılabilir. Güneş panelleri günümüzde evlerin ve ticari binaların çatılarına kolayca yerleştirilebilir. Paylaşılan güneş enerjisinin ortaya çıkmasıyla beraber Amerika gibi ülkelerde, alan kullanılamazlığı ile ilgili artık sorun kalmamıştır. Ev sahipleri, çatıda güneş panelleri olmadan elektriği ortak güneş bahçelerinden tedarik edebilirler (Guangul ve Chala, 2019).

Güneş sistemlerine yatırım başta pahalı görünse de sistem kurulduktan sonraki işletme maliyeti oldukça düşüktür. Ayrıca güneş panellerinin düşük bakım maliyeti ve küçük servislerle 10 ila 15 yıl hizmet verebilmesi ile, uzun vadede güneş enerjisini kullanmanın maliyet açısından diğer enerji kaynaklarına kıyasla daha iyi olacağı da söylenebilir (Guangul ve Chala, 2019).

Güneş enerjisi, doğrudan veya dolaylı olarak, endüstri amaçlarıyla sınırlı değildir, aynı zamanda tarımsal ve endüstriyel ürünlerin kurutulması, güneş enerjili buzdolabı, su ısıtma, güneş enerjisi ile pişirme gibi konularda boy gösterir. Güneş enerjisi, özellikle güneş ışınım yoğunluğunun yüksek olduğu ve elektriğin olmadığı alanlarda yemek pişirmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Güneş enerjisiyle pişirmede güneşten gelen radyasyon, reflektörler yardımıyla bir noktada yoğunlaşır. Kutulu ocak, parabolik ocak, panel pişirici vb. gibi çeşitli tipte güneş ocakları zaten icat edilmiştir (Guangul ve Chala, 2019).

1.4.2. Güneş Enerjisi Kullanım Dezavantajı

Güneş radyasyonu yalnızca gündüz mevcut olduğundan, fotovoltaik paneller ve diğer kollektörler, güneş enerjisini yalnızca güneş ışığı olduğunda diğer enerji türlerine

dönüştürebilir. Bu nedenle güneş enerjisinin kesintisiz güç temini için enerji depolama sistemine sahip olması gerekir. Güneş enerji sistemi ayrıca, mevcut güneş radyasyonu yeterli olmadığında veya enerji depolaması günün geri kalanını sağlamak için yeterli olmadığında, başka bir güç takviyesi ile birlikte kurulur. Bu da güneş enerji sistemini daha pahalı hale getiren ek bir maliyettir (Guangul ve Chala, 2019).

İdeal bir güneş panelinin verimliliğinin %100 olması gerektiği düşünülebilir ve bu yüzden %15 verimliliğe sahip bir güneş panelinin fazla çalışmadığı zannedilebilir. Ama aslında verimlilik, gücü üretmek için ne kadar alan gerektiğiyle ilgilidir. %15 verimliliğe sahip 250 W panel, %20 verimlilikle 250 W panel ile aynı gücü sağlar. Aradaki verimliliği etkileyen fark boyuttur. Aynı güç sağlayan iki panelden daha verimli olanı elbette boyutça daha küçük olanıdır. Alan sorunu nedeniyle küçük elektronik cihazlara güç sağlamak için yüksek verimlilik oldukça önemlidir. Ancak bir çatı genellikle ortalama ev kullanımı için yeterli gücü sağlayacak kadar büyüktür. Bu nedenle çatı alanı dar olduğunda daha verimli paneller devreye girer fakat bunlar genellikle daha pahalı olmaktadır (“Understandsolar”, 2018). Bu bahsedilen müstakil evler için kullanışlı olabilir ancak ülkemizdeki haneler için durum biraz daha farklıdır. Bu farklılığı nedeni 10 ila 15 katlı binaların çatılarına yerleştirilecek paneller binadaki sınırlı sayıdaki daireye enerji sağlayabilir olmasıdır. En verimli paneller kullanıldığı durumda maliyet oldukça yüksek olacaktır. Bu nedenle güneş panellerindeki verimliliği attırmaya yönelik çalışmalar oldukça önemlidir. Bununla beraber Shockley Semiconductor' daki fizikçiler William Shockley ve Hans Queisser fiziğin şu temel gerçeğini ortaya çıkardı: 1961 Shockley-Queisser sınırı. Ayrıntılı denge sınırını ile hücreden güç toplamak için bir güneş pilinin maksimum teorik verimliliğini hesaplamışlardır. Bu sınırı bulmalarıyla, güneş enerjisi potansiyelini anlamaya önemli katkılardan biri olarak kabul edilmektedir. Aslında, ideal güneş ışığı koşullarında metrekare başına yaklaşık 1.000 W güneş ışığının dünyaya düştüğünü ve bunun yalnızca %33.7' sinin fotovoltaik güneş enerjisinde kullanılabileceğini söylüyor. Örneğin, silikonun maksimum verimliliği %32' dir. Mevcut ticari monokristal hücreler şu anda yaklaşık %24 verimlidir. Çünkü yansıma ve metal tellerdeki küçük gölgeler gibi diğer kısıtlamalar, güneş piline erişen güneş ışığı miktarını daha da azaltmaktadır. (“Understandsolar”, t.y.).



Şekil 4. Ev için güneş panelleri
("Key Life Homes", 2020)

1.4.3. Güneş Enerjisi Depolama Sistemi Kurşun Asit Batarya

PV dizisi tarafından üretilen elektrik enerjisini depolamak ve aynı zamanda elektrik yüklerine enerji sağlamak için pil gereklidir. Elektrik yüklerine kararlı voltaj, aşırı gerilim veya yüksek tepe çalışma akımları sağlayabilir (Fidan, 2015).

Fransız bilim adamı Gaston Plante, 1859'da ilk şarj edilebilir kurşun-asit bataryayı tasarladığından beri, kurşun-asit batarya teknolojisi, yeni bilgilerin birikimi ve yeni malzemelerin icadıyla beraber gelişmektedir. Kurşun asitli pil, insanın günlük yaşamında (ulaşım araçları, telekomünikasyon, bilgi teknolojileri, vb.) geniş uygulama alanıyla ana taşınabilir elektrik enerjisi kaynaklarından biri haline gelmiştir. Enerji depolama ve yük dengeleme uygulamalarında (yedek elektrik güç kaynağı ve uzak alan enerji sistemleri) önemli bir konum kazanmıştır. Kurşun-asitli aküler uygun fiyatlı, üretimi ve geri dönüşümü kolaydır. Ayrıca üretimleri için gereken kaynaklar (kurşun, sülfürik asit ve su) neredeyse sınırsızdır. Bu sebepledir ki kurşunlu akü endüstrisi dünya çapında yıllık on milyarlarca dolarlık ciroya ulaşmıştır (Pavlov, 2017).

Kurşun-asit batarya karmaşık dinamik bir sistem ya da bataryanın şarjlı, boşalmış veya açık devre olup olmadığına bakılmaksızın çeşitli işlemlerin farklı hızlarda sürekli olarak ilerlediği "karmaşık dinamik bir dünya" olarak adlandırılabilir ve bu yapıda bulunan iki elektrokimyasal sistemin aynı anda çalışmasıyla var olur: kurşun sistemi (Pb / $PbSO_4$ ve $PbSO_2$ / $PbSO_4$) ve su sistemi (H_2O / H_2 ve H_2O / O_2) (Pavlov, 2017).

Pil araştırmacılarının çözmesi gereken ilk ve en önemli sorun, kullanım sırasında pilin bakımını büyük ölçüde ortadan kaldırmak veya azaltmaktır. 20. yüzyılın ilk yarısında, kurşun-asitli aküler çalışma sırasında su kaybettikleri için bakıma ihtiyaç duyuldu. 20. yüzyılda pil bilimcilerinin ve teknoloji uzmanlarının önemli çabaları su kaybı sorununu çözmeye odaklanmıştı. Mesela 1935' te, Bell Laboratuvarından Haring ve Thomas, sabit pilleri için kurşun-antimon ızgaralarını kurşun ve kalsiyum ile değiştirerek akünün bakıma olan ihtiyacı önemli ölçüde azaltmıştır. 1957' de Sonnenscheinden Otto Jache jel elektrolitini piyasaya sürerek sızdırmaz kurşun-asit bataryanın patentini almıştır. Bu batarya yapısında, pozitif plakalarda gelişen oksijen, jeldeki çatlaklardan geçerek negatif plakalara ulaşır, burada azaltılır ve böylece kaybedilen suyu geri kazandırır. Alman Sonnenschein şirketi, jel sızdırmaz kurşun-asit sabit akülerin seri üretimine başlamıştır (Pavlov, 2017). Ucuz üretim teknolojileri ve yüksek elektrik gücü/ağırlık oranı nedeniyle, elektrikli araçları donatmak için uygun maliyetli bir çözüm olan kurşun asitli bataryalar, birçok boyutta geniş bulunabilirlikleri, dökülmeye karşı dayanıklılığı, taşımadaki kolaylığı ve iyi anlaşılmış performans gibi özellikleri nedeniyle özellikle bağımsız güç sistemlerinde PV uygulamalarında en çok kullanılanlardır. Bu teknolojinin dezavantajları arasında sınırlı çevrim ömrü, düşük ve yüksek ortam sıcaklıklarında zayıf performans göstermesi bulunmaktadır (Fidan, 2015).

İKİNCİ BÖLÜM
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Akıllı evlerde kullanılan enerjinin yönetimi için literatürde pek çok farklı araştırma karşımıza çıkmaktadır. Öncelikle akıllı bir ev için enerji tüketimi verileri toplanır ve analiz edilir. Kullanıcıların konforu korunurken enerji tasarrufu önlemleri oluşturulur ve gerçekleştirilir. Lee ve arkadaşları akıllı evde enerji tasarrufu için kullanılmak üzere akıllı priz ve ev içi tüketici ekranı (IHD) gibi evdeki enerji tüketimini gösteren birçok yeni cihazı kullanmışlardır. Böylece enerji tüketimini tanıyıp azaltabileceklerini ve cihazların enerji verimliliğini dikkate alarak kontrol edilebileceklerini önermişlerdir (Lee, vd., 2014).

Sonandkar ve arkadaşları güç kullanımlarını ve elektrik faturalarını azaltmaya yönelik çalışmasında; enerji talebinin en yüksek seviyeye geldiği anda, evlerde enerji kullanımının azaltılması gibi bir çözüm önermiştir. Çalışmada gerçek zamanlı fiyatlandırma uygulaması ile enerji talebinin sağlanması için güç ölçümü yapılmıştır. Kullanıcının anlık olarak tükettiği gücü öğrenmesi sağlanarak elektriğin ne kadar ve ne zaman kullanacağı bilgisi sunulur. Elektrik talebinde artışın olduğu zaman dilimlerinde daha yüksek fiyatlandırır. Düşük ve yoğun elektrik tüketilen saatleri değiştirerek, maksimum elektrik enerji talebi indirgenmesi ve enerji tasarrufu sağlanması amaçlanmıştır (Sonandkar, vd., 2016).

Abdalla' nın çalışmasında, akıllı evler için enerji yönetim sistemi geliştirilerek, evdeki yüklerin izlenilerek kontrol edilmesiyle mevcut enerjinin verimli bir şekilde yönetilmesi hedeflenmiştir. Konut sahibi, tercihine ve yük önceliklerine göre otomatik olarak akıllı yük açma/kapatma ile anahtarlama yapabilir. Sistem için mikrodenetleyici, aktüatörler, internet donanımı, algılayıcılar ve görüntüleme cihazları kullanılarak bir gömülü sistemin tasarımı gerçekleştirilmiştir. İnternet yazılımları da uzaktan kontrolü ve erişimi gerçekleştirmek için tasarlanmıştır. Yük yönetimi için enerji yönetim sisteminde ekonomik, otomatik ve manuel olmak üzere üç farklı durum mevcuttur. Sistemde belirlenen gücün değerine göre cihazlar uzaktan internet protokolü ile kontrol edilmiştir. Kontrol algoritması

ile de yükün daha az olduğu saat dilimlerinde cihazlar çalıştırılmaktadır. Bu şekilde enerji tasarrufu sağlanmış olup elektrik faturalarında da düşüş sağlanmıştır (S. H. Abdalla, 2019).

Hidrojen ve güneş enerjilerinin bir arada evsel uygulamalarda kullanmak için karma bir enerji üretim sistemi geliştiren Bayrak, yenilenebilir enerjinin verimi arttırılmıştır. Güneş ışığı yeterliyken, enerji PV sistem tarafından sağlanır. Güneş ışığı yetersiz veya gece olduğu zaman ise yakıt pili devreye girerek sistem kesintisiz olarak çalışabilir. Geliştirdiği prototip yakıt pili-güneş pili ile evlerde temiz enerji sisteminin yaygınlaşmasını hedeflemiştir. Enerji nakil hatlarının tesis edilmesinin maliyetli ve zor olduğu durumlarda, sunulan sistemin şebekeden bağımsız olması ekonomik olarak fayda sağlayacağını düşünmüştür (Bayrak, 2014).

Al-Janabi, güneş enerjisi ile çalışan bir akıllı ev sistemi oluşturmuş ve ev cihazlarını akıllı cihazlar aracılığıyla uzaktan kontrol edilmesini sağlamıştır. Akıllı evin kontrolü kullanıcıların mikrodenetleyiciye gönderdikleri talimatlarla sağlanır. Talimatların işlenmesi ve analizi yapıldıktan sonra, işlenmiş komut ilgili algılayıcıya iletilir. Kablosuz ağ bağlantısı (Wi-Fi) ve bir web tarayıcı uygulaması olan herhangi kişisel bilgisayar veya bir akıllı telefon ile çalışır, tüm ev aletlerini ve algılayıcıları kontrol edebilir. Güneş enerjisi ile güçlendirilen bu akıllı ev sisteminin, düşük maliyetli bir proje olduğu ve güneş pili sisteminin kullanılmasıyla elektrik enerjisinden tasarruf edileceği düşünülmüştür (Al-Janabi, 2018).

Başol çalışmasında, akıllı evin tasarımı ve uygulamasını gerçekleştirmiş olup bunun için prototip bir ev hazırlamıştır. Ev için aydınlatma, mutfak ocağı, ısıtma sistemi ve ayrıca evin güvenliği uzaktan GSM ile kontrol edilmesini sağlamıştır. Evdeki elektrikli cihazlar için gereken enerji ihtiyacı güneş paneli tarafından sağlanarak elektrik maliyetinden tasarruf edilmiştir. Bilgisayar, web ve android programları ile yazılan arayüzler aracılığıyla evdeki algılayıcılardan ve diğer kontrol cihazlarından anlık bilgiler alınmıştır. Evde bulunan algılayıcılar ile gaz kaçağı, oda sıcaklıkları, yangın durumu vs. gibi durumlar kontrol edilmektedir (Başol, 2016).

Yıldız'ın çalışmasında, yalnızca güneş enerjisi ile akıllı evin elektrik ihtiyacının karşılanmasının yanı sıra evdeki tüm enerji tüketimlerini en aza indirmeyi hedeflemiştir. Tasarladığı arayüz programı ile harcanan elektrik enerjisi, evin sıcaklığı, ısıtma-soğutma, alarm, gaz kaçağı uyarısı, kamera izleme, yangın söndürme gibi sistemlerin kontrolü tek bir merkezden gerçekleştirmiştir. Uzaktan kontrol ile cihazların enerjisini keserek enerji tasarrufu sağlanabileceğini ve güneş enerjisi sistemi akülü ise akünün şarj durumunun da izlenebileceğini belirtmiştir. Akıllı ev ile sıfır enerjili evin birlikte kullanımını; güvenilir, temiz, konforlu ve enerjide bağımsız bir otomatik kontrol sistem tasarımı olduğunu tanımlamıştır (Yıldız, 2019).

Aktaş çalışmasında, değişken yapılı ve kararsız olan yenilenebilir enerji kaynaklarından (YEK) üretilen elektrik güç sistemine, Hibrit Enerji Depolama Sistemi'ni (HEDS) entegre etmiştir. Akıllı kontrolünün sağlanması ile kaliteli ve kesintisiz elektrik enerjisi üretimini amaçlamıştır. Bir HEDS tasarlayarak akıllı mikro şebeke alt yapısı oluşturmuştur. Ayrıca sisteminde kullandığı dönüştürücü birimleri için kontrol algoritmaları oluşturarak özgün bir akıllı enerji yönetim algoritması geliştirmiştir. HEDS ada modunda şebekeden bağımsız olarak yük grubunu beslerken, akıllı enerji yönetim algoritması ile yükün sürekli olarak beslenmesi sağlanmıştır. Gece modunda ise batarya grubunun şarj edilerek enerjinin depolaması sağlanmaktadır. Simülasyon ve deneyler sonucu sistemin başarılı olduğunu gözlemlemiştir (Aktaş, 2016).

Güneş panellerinden üretilen gücün anlık izlenmesi ve verilerin saklanması için Şerbetli' nin gerçekleştirdiği çalışmada; gerilim ve akım değerleri fotovoltaik panellerden veri toplama kartına uygulanmıştır. Elde edilmiş olan referans değerleri PIC18F4620 mikrodenetleyiciye gönderilerek, akım, gerilim, güç değerini kaydetmektedir. Üretilen gücün gerçek zamanlı olarak izlenmesini sağlamıştır (Şerbetli, 2016).

Amacı kullanıcının maliyetini en aza indirmek için bir ev enerji yönetim sistemi geliştirmek olan Syed çalışmasında, sistem ile son kullanıcının değişen elektrik fiyatlarına göre cihazları için en uygun başlangıç zamanlarını bilmesini sağlamıştır. İlk olarak, her kullanıcı için maliyet ve cihaz için zaman kısıtlamalarını modellemiştir. Ardından, kullanıcı

tarafından bir cihaz programı oluşturmak için yinelemeli bir açgözlü (greedy) algoritma kullanmıştır. Kullanıcı için tek değişken, hizmet şirketi tarafından yayınlanan gün öncesi elektrik fiyatıdır. Yinelemeli algoritmanın yakınsamasını sağlamak için maliyet fonksiyonunda bir ceza terimi getirilir. Ceza süresi, cihaz zamanlama yinelemeli sürecindeki büyük değişiklikleri cezalandırır. Sayısal çözümler, bu optimizasyon yönteminin, kamu hizmeti şirketi için daha düşük üretim maliyetleri, daha düşük tepe yükü, azaltılmış yük dalgalanmaları ve sonuç olarak tüketici için daha düşük maliyetle sonuçlandığını kanıtlamaktadır (Syed, 2016).

Akay ve arkadaşlarının Orta Doğu ve Kuzey Afrika ülkeleri için 1988-2010 yıllarına ait veriler ile yenilenebilir enerji tüketimi, iktisadi büyüme ve karbondioksit emisyonu arasındaki ilişkiyi incelemeleri sonucunda, yenilenebilir enerji tüketiminin artmasının karbondioksit emisyonu üzerinde azaltıcı etki yapacağını belirtmişlerdir. (Akay, vd., 2015).

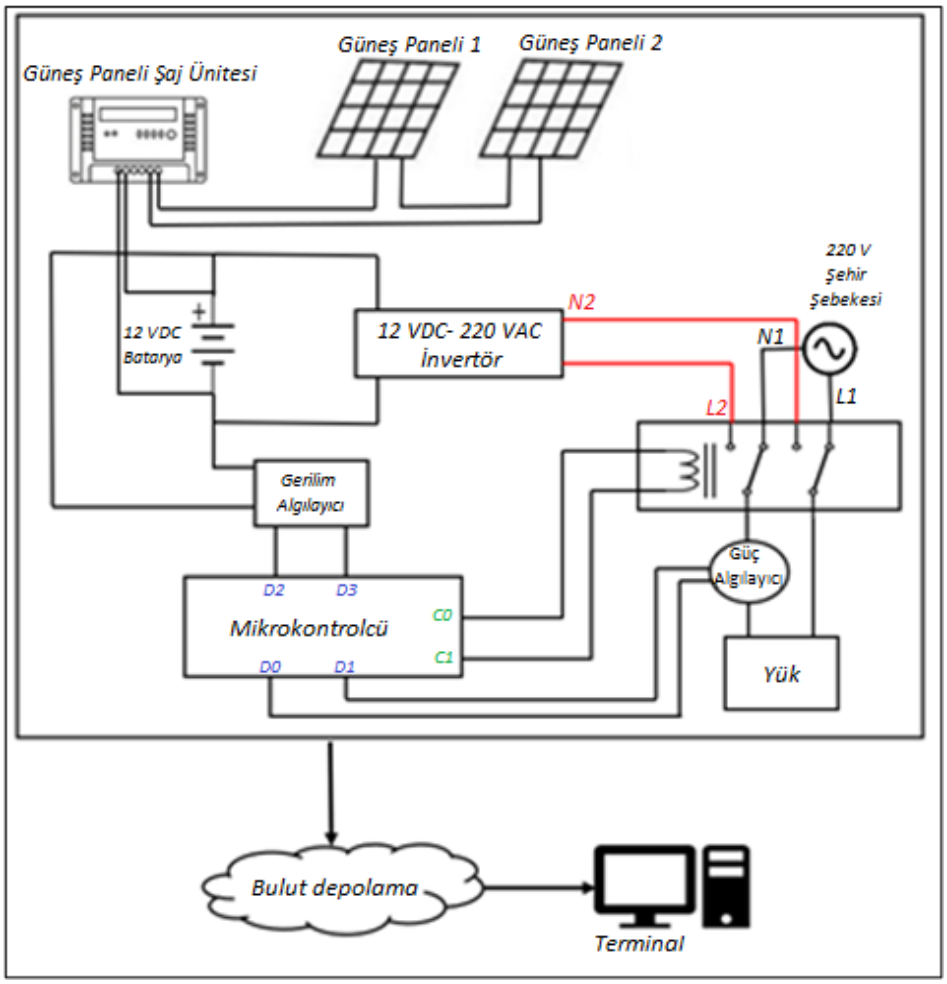
Çimen ve arkadaşları, derin sinir ağı (DNN) tabanlı müdahaleci olmayan yük izleme NILM (non-intrusive load monitoring) tekniği ile konut kullanıcıların akıllı sayaç verilerini analiz etmişlerdir. Cihazların hem tüketim hem de çalışma durumu verilerini ortalama % 90' ın üzerinde bir doğrulukla elde etmişlerdir. Sonuç olarak önerdikleri yöntemin hem işletme maliyetini düşürdüğü hem de müşteri memnuniyetini artırdığını simülasyon yardımı ile göstermişlerdir (Çimen, vd., 2020).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
MATERYAL VE YÖNTEM

Sistemin genel mimarisinin tanıtıldığı bu bölümde, sistemin katmanlarının gerçekleştirilme adımları yer almaktadır. Donanım ve yazılım katmanı olmak üzere iki katmandan oluşan yapının, sistemden elde edilen verilerin analiz ve tahmin yöntemleri bu bölümde anlatılmıştır.

3.1. Mimari Yapı

Sistemin mimarisi Şekil 5' te görüldüğü gibidir. Kendi içinde iki katmanda incelenebilir. Bunlar donanım katmanı ve yazılım katmanları olarak adlandırılmıştır.



Şekil 5. Sistem mimarisi

(Er, vd., 2021)

3.1.1. Donanım Katmanı

Sistemde kullanılmak üzere iki farklı enerji kaynağı yer almaktadır. Bunlardan ilki varsayılan da olan şehir elektrik şebekesidir. Diğeri ise güneş enerjisi ile önceden şarj edilmiş olan bataryadır. Elektriksel cihazların sisteme dahil edilmesini sağlayan bir priz de mevcuttur.

Mikrodenetleyici olarak tercih edilen NodeMCU, cihazların hangi enerji kaynağından besleneceğinin kararını verir. Şebeke ile batarya arasında otomatik geçişi sağlar, bunu cihazlar ile sistemdeki enerji kaynakları üzerinde sürekli olarak ölçümler yaparak (bataryanın gerilim, alternatif gerilim, elektriksel enerji, elektriksel güç ve akım) ve üzerinde çalışan algoritma ile gerçekleştirir.

Röle, mikrodenetleyici karar verdikten sonra iki enerji kaynağı arasında anahtarlamayı gerçekleştirir, anahtarlama gerilimi 5V olan röle mikrodenetleyiciye C0 ve C1 uçlarıyla bağlıdır.

İnvertör, 220V AC ile çalışan sistemdeki cihazlara şehir şebekesi haricinde bu gerilim değerini sağlamak için kullanılmıştır. 1200 W kapasiteye sahip olan invertör bataryadan elde edilen DC’ yi AC’ ye dönüştürerek 220 V değer üretebilir.

Güç algılayıcı, ilk andan itibaren harcanan elektrik enerjisini, yük üzerinden geçen akımı ve anlık güç değerlerini ölçerek bu ölçtüğü değerleri D0 ve D1 uçlarıyla mikrodenetleyiciye aktarır.

Batarya, şarj ünitesinden gelen enerjiyi depolar, sistemde 12 voltluk 2 adet bulunmaktadır ve kurşun asit türündedir.

Gerilim algılayıcı, bataryanın türünden dolayı tamamen deşarj olmaması gerekmektedir aksi halde tekrar çalışamaz bu yüzden gerilim algılayıcı bataryanın gerilim değerini sürekli olarak ölçmektedir. Bunu mikrodenetleyicinin D2 ve D3 uçlarına bağlanarak gerçekleştirir.

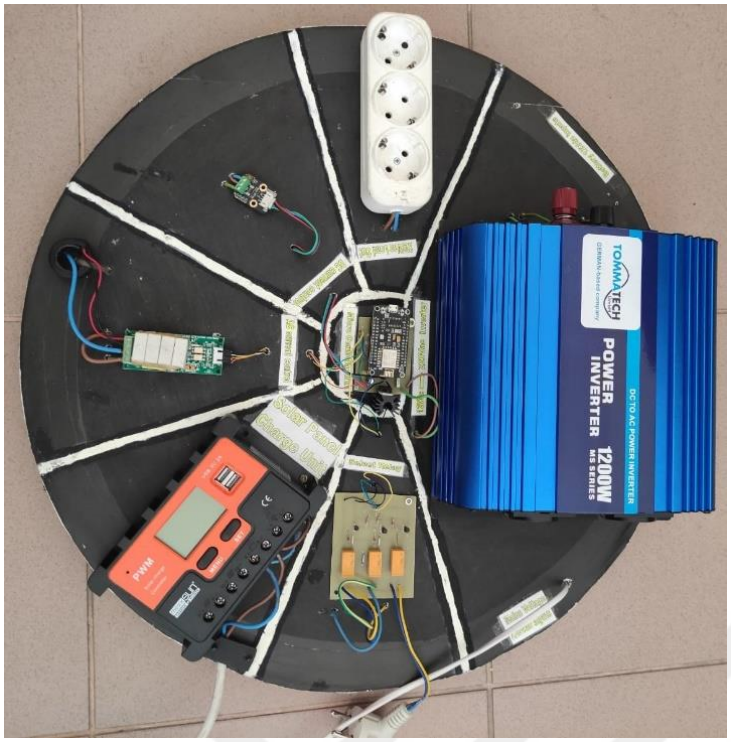
Güneş panelleri, elektrik enerjisine dönüştürülmesi için güneş ışınlarını toplayarak bataryaların şarj olmasını sağlamaktadır. Şarj konrol ünitesi, şarj işleminin ne zaman başlayıp biteceğini kontrol eder.

Şehir şebekesi; sistemin yüksek güç tüketen cihazlarının enerji ihtiyacını karşılar ve bataryanın yetersiz olduğu durumlarda devreye girer.

Yük (cihazlar), farklı seviyelerde güç tüketerek sistemi simüle etmemize yarar. Rölenin yüksek akım ve bataryaların kapasitesi durumlarında kontaklarının birbirine yapışması gibi nedenlerden dolayı nispeten çok yüksek güç tüketimine sahip olmayan cihazlar tercih edilerek, yine aynı sebeplerden sayıları da sınırlı tutulmuştur. Bu yüzden güç tüketimleri Tablo 2'deki gibi olan 3 adet cihaz sistem üzerine elektriksel yük olarak bağlanmıştır.

Tablo 2.
Yük olarak kullanılan cihazların güç tüketimi

Cihaz no	**Güç tüketimi (W)**
1	25
2	50
3	10



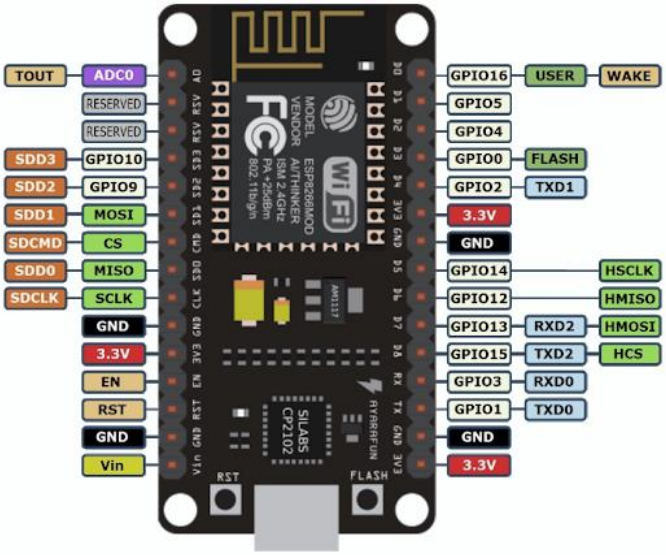
Şekil 6. Donanım katmanını oluşturan elemanlar

Tablo 2' de belirtilen cihazlar rastgele çalıştırılarak ev kullanıcısının elektrik tüketimi simüle edilmiştir. Bataryanın gerilim seviyesi ve cihazın harcadığı enerjiye göre mikrodenetleyici, batarya ve varsayılan enerji kaynağı olan şebeke arasında anahtarlamayı sağlamıştır. Mikrodenetleyici bunu Şekil 8' de belirtilen algoritma ile yapmıştır. Algoritmada cihazların harcadığı güç miktarı, toplam_güç_tüketimi olarak tanımlanmış olup bu değer 60 W'a eşit veya küçük iken ve aynı zamanda batarya gerilimi de 12 V değerinden büyük veya eşit iken, mikrodenetleyici Şekil 5' teki C0 ve C1 uçlarına bağlı bulunan röleyi tetikler. Böylece bataryanın cihazın enerji kaynağı olarak ayarlanır. Artık cihaz, L2-N2 hattıyla devreye dahil olan invertörün sağlamış olduğu 220 voltluk gerilim üzerinden çalışmasına devam eder, toplam_güç_tüketimi değeri aynı kaldığında ve batarya gerilimi 12 V' un altına düştüğü durumda ise bu sefer de sistemin enerji kaynağı olarak şehir şebekesi ayarlanmıştır. Burada mikrodenetleyici C0 ve C1 uçlarındaki röleyi tetiklemeyi bırakır ve cihaz yükününü L1-N1 hattıyla devresini tamamlamasını sağlamıştır. Diğer durum ise güç tüketimi 60 W'ı geçtiğinde yine sistemin enerji kaynağı şehir şebekesidir. Geliştirilen bu sistem ile düşük güç tüketimli cihazların batarya üzerinden invertör yardımıyla elde edilen alternatif akım ile beslenmesi, yüksek güç tüketimli cihazların ise şehir şebekesi ile beslenmesi sağlanmış olur.

Güç tüketimi için 60 W'ın eşik değer olarak belirlenmesindeki en önemli etken, evlerde nispeten "düşük güç tüketen" dediğimiz pek çok cihazın güç tüketimi 100 W'tan az olmasıdır. Örneğin lamba yaklaşık 20-75 W, 32 inçlik bir panel televizyon ortalama 30-55 W, (şarjda) dizüstü bilgisayar 90 W gibi değerlere sahiptir. Bu düşük güç tüketen cihazların enerjisi batarya tarafından desteklenmesi hedeflendiği için 60 W makul bir seviye olarak düşünülmüştür. 12 volt olan ikinci eşik değer ise, kurşun asit bataryaların gerilim seviyesidir.

Cihazların enerji kullanımını izlemek ve kontrol etmek için, ESP8266 ailesinden kullanımı en kolay üyesi olan NodeMCU, sistem için tercih edilmiştir. Uygulamalarını yürütebilmek için gerekli işlem kapasitesine sahiptir, yani ek cihaz kurmaya gerek kalmadan WiFi ile doğrudan bağlantı sağlayabilir. Ayrıca NodeMCU, IoT ürünlerinin prototiplenmesine yardımcı olan açık kaynaklı bir ürün yazılımı ve geliştirme kitidir, Programlanması Arduino IDE' dekine benzeyen NodeMCU, şu özelliklere sahiptir (Kashyap, vd., 2018);

1. Arduino gibi donanım I / O
2. USB TTL dahil, tak ve çalıştır
3. En düşük maliyetli Wi-Fi



Şekil 7. NodeMCU' nun yapısı

("Electrologs", 2017)

3.1.2. Yazılım Katmanı

Şekil 8'de görülen kod parçacığı ve ThingSpeak bulut hizmeti sistemin yazılım katmanını oluşturmaktadır. Kod parçacığı NodeMCU üzerinde çalışmaktadır. Sistem çalışmaya başladıktan sonra, cihazların güç tüketim verilerini güç ve gerilim algılayıcılardan toplayan NodeMCU yerel ağ üzerinden bulut sağlayıcısı olan ThingSpeak' e göndermiştir.

```
//Başlangıç
Varsayılan enerji kaynağı ← şehir şebekesi
döngü (sistemde enerji olduğu sürece) {
toplam_güç_tüketimi ← yükteki cihazların güç değerleri toplamı
batarya_gerilimi← bataryanın gerilim değeri,
eğer (toplam_güç_tüketimi <= 60 W ve batarya_gerilimi>=12.0 Volt)
  enerji kaynağını batarya olarak belirle.
değilse
  enerji kaynağını şehir şebekesi olarak belirle
}
```

Şekil 8. NodeMCU üzerinde çalışan algoritma

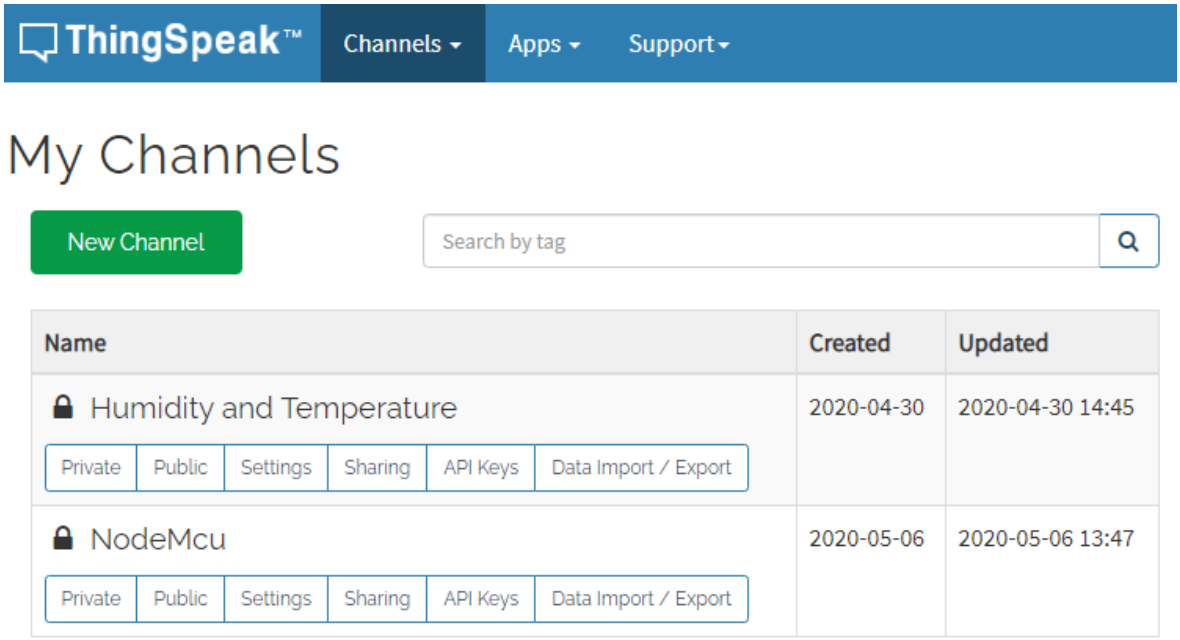
İlk olarak 2010 yılında IoT uygulamalarını destekleyen bir hizmet olarak ioBridge tarafından piyasaya sürülen ThingSpeak, farklı amaçlanan kullanımlar için farklı lisans türlerine de sahiptir. Ücretsiz lisansın bazı kısıtlamaları vardır. Lisans satın almak, hızlı güncelleme ve ek kanalların oluşturulmasına izin verir. HTTP kullanarak internet veya yerel alan ağı yoluyla veri depolamak ve bunlardan veri almak için açık kaynaklı bir IoT uygulaması ve API' sidir. ThingSpeak dizeleri, tam sayıları, ondalık sayıları ve kodlanmış verileri kabul eder. Verileri alan başına 255 karaktere kadar dizeler halinde depolar. Her kanal, 8 adede kadar veri alanına izin verir (Scharler, 2021). Buluttaki canlı veri akışlarının

toplanarak görselleştirilmesi ve analiz edilmesini sağlayan bir analiz platformu hizmetidir, bazı önemli özellikleri şu şekildedir:

1. ThingSpeak' e veri göndermek için cihazları kolayca yapılandırılır. Bunu IoT protokollerini kullanarak yapar.
2. Algılayıcılardan gelen verileri gerçek zamanlı olarak görselleştirir.
3. Üçüncü taraf kaynakların talepleri üzerine toplu veriler sağlar.
4. IoT verilerini anlamlı hale getirmek için MATLAB' ı kullanır.
5. IoT analizlerini programlara veya etkinliklere göre otomatik olarak çalıştırabilir.
6. IoT sistemlerini, sunucu kurmadan ya da web yazılımı geliştirmeden prototipleyerek oluşturulmasına izin verir.
7. Kullanıcının veriler üzerinde otomatik olarak hareket etmesine ve Twitter gibi üçüncü taraf hizmetleri kullanarak iletişim kurulmasına izin verir.

Algılayıcıların, enstrümanların ve web sitelerinin, buluta veri göndermesini sağlayarak gönderilen verilerin özel / genel bir kanalda depolanmasını sağlar. Bu gönderilen veriler varsayılan olarak Şekil 9’ daki gibi özel kanallarda saklanır. İsteğe göre genel kanallar seçilerek, paylaşılmasına izin verilebilir. Kanalda veri olduğu müddetçe bu verilerin analiz ederek görselleştirilmesi ve yeni verilerin hesaplanarak sosyal medya, web hizmetleri ve diğer cihazlarla etkileşimi sağlanabilir (“ThingSpeak”, t.y.).

Mikrodenetleyiciden elde edilen verileri 15 saniye aralıklarla buluta gönderilmiştir. Bunun için bulutta kanal (channel) oluşturduktan sonra mikrodenetleyiciden kaç tür veri okunarak buluta aktarılacaksa o kadar sayıda alan (field) oluşturulmuştur. Şekil 10’ da alanlar görülmektedir. Birinci alan şebeke gerilimini, ikinci alan akımı, üçüncü alan güç tüketimini, dördüncü alan tüketilen enerjiyi, beşinci alan batarya gerilimini ifade etmektedir.



Şekil 9. ThingSpeak' te kanalların görünümü

Bu verilerin aktarılabilmesi için ThingSpeak' teki her kullanıcıya verilen ve her kanala özel olan Write API key bilgisini ve sunucu adını Arduino IDE' de yazdığımız kodlara ekledik. Sunucu adı olan "api.thingspeak.com", mikrodenetleyicinin hangi adrese yönlendirileceğini bilmesi ve Write API key bilgisi ise ilgili verilerin hangi kanalda depolanacağının belirlenmesi için yazılmak zorundadır. Tüm bu işlemler sonucunda okunan veriler artık iletilmiş durumda ve ThingSpeak bulut platformunda bulunmaktadır.

Şekil 10. Verilerin ThingSpeak' te anlık görünümü







Şekil 10. Verilerin ThingSpeak' te anlık görünümü' nün devamı

3.2. Gelecek Verilerin Tahmini

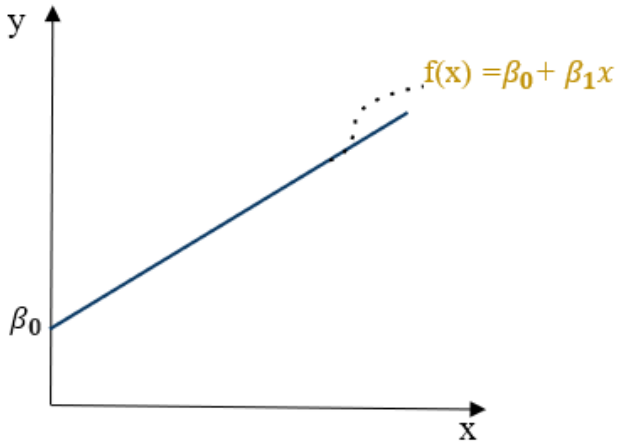
Buluttaki verilere "Read Api Key" bilgisiyle erişilerek görselleştirilmesi sağlanmıştır. Daha sonra bu veriler kullanılarak gelecek verilerinin nasıl olacağı konusunda tahmin yöntemlerine başvurulmuştur. Aynı şekilde tahmin sonuçları da grafikler haline getirilmiştir. Verilerin görselleştirilmesi için Python programlama dilinin sağladığı Numpy, Pandas ve Matplotlib kütüphaneleri kullanılmıştır. Math, Scikit-learn ve Keras ise verilerin tahmin edilmesinde kullanılmış olan Python kütüphaneleridir.

Cihazlar çalıştırıldıktan sonra elde edilen veriler kullanılarak, iki farklı tahmin yöntemiyle gelecekteki olası güç tüketim verileri ortaya çıkmıştır. Bu metotlardan ilki polinomsal lineer regresyon ve ikincisi ise LSTM (long short term memory- kısa uzun zamanlı hafıza) yöntemidir.

3.2.1. Lineer Regresyon

Regresyon analizi, kullanıcıların bir veya birden fazla x tahmin değişkeni değerine dayalı olarak sürekli bir y sonuç değişkenini tahmin etmesini sağlayan yöntemdir. Doğrusal bir regresyonda, sonuç ile tahmin arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayılır. Buradan, zamana bağlı veriler ile zaman arasındaki düz çizgi ilişkisini tanımlayan Denklem 1 ile görülebilir. Şekil 11'de bu denklemi ifade eden grafik görülmektedir. Bağımlı değişkeni y, bağımsız değişkeni x ifade etmektedir, β_0 eğrinin y eksenini kestiği nokta olurken, β1 eğim değeridir ve ε ise hatadır (Arce ve Macabebe, 2019).

$$f(x) = y = \boldsymbol{\beta_0} + \boldsymbol{\beta_1} x_1 + \varepsilon \quad (1)$$



Şekil 11. Lineer bir doğrunun grafiği ve denklemi

Denklem 1'deki ε hata değerini sıfıra yaklaştırarak en uygun regresyon modelinin oluşturulmasını sağlayan yöntem en küçük kareler metodudur (SSR - sum squared error) ve Denklem 2' de gösterilmiştir. Denklem 2'de n değeri veri setindeki eleman sayısıdır, y_i ise x_i değerine karşılık gelen gerçek y değerini gösterir y_{head} ise tahmin değeridir. Gerçek y değeri ile tahmini y değeri arasındaki fark ne kadar az olursa (0' a yaklaşırsa) tahminin doğruluk oranı o kadar başarılı olmuş demektir. SSR yöntemiyle oldukça benzerlik gösteren SST (sum squared total - tüm kareler toplamı) tahmini y değerlerinin ortalaması (y_{head_ort}) ile gerçek y değerleri (y_i) arasındaki farkın kareleri toplamını ifade eder. Denklem 3' de gösterilmiştir.

$$SSR=\sum_{i=1}^{n}(y_i - y_{head})^2 \quad (2)$$

$$SST=\sum_{i=1}^{n}(y_i - y_{head_ort})^2 \quad (3)$$

3.2.2. Çoklu Lineer Regresyon

Lineer regresyondan farklı olarak veri setinde öznitelik sayısı 1' den fazladır. Yine lineer regresyondaki gibi, bağımsız değişkenler $x_1 \ldots x_n$ olarak adlandırılan bir girdi kümesi vardır. Bu girdi değerine bağlı, bağımlı değişken olarak da adlandırılan tek bir yanıt değişkeni y vardır. Bağımlı değişken y ile girdi değişkenleri $x_1 \ldots x_n$ arasındaki en basit

ilişki türü doğrusal bir ilişkidir. Yani, bazı $\beta_0, \beta_1, \ldots . \beta_n$ sabitleri için Denklem 4 geçerli olacaktır. Denklem 4 çoklu doğrusal regresyon denklemi olarak adlandırılır.

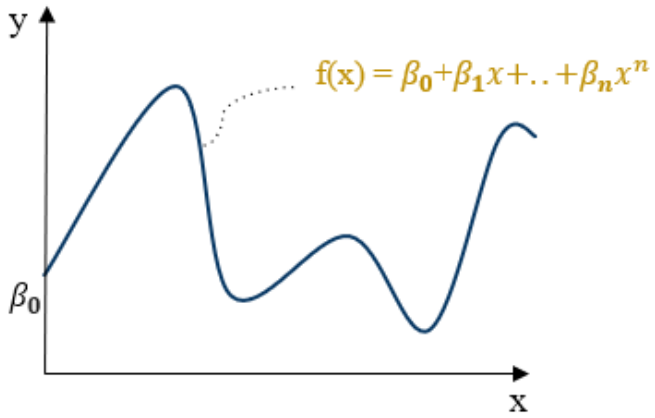
$$f(x) = y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \ldots . + \beta_n x_n \quad (4)$$

Denklem 4' deki y değeri elde edilmek istenen tahmin değeridir. β_0 eğrinin y eksenini kestiği noktadır, $x_1 \ldots . \; x_n$ öznitelikler yani girdi değerleridir. Buradaki y ve x_i arasındaki ilişki, i = 1, ..., n olan herhangi bir girdi değeri kümesi için yanıtı tam olarak tahmin etmek ancak βi öğrenildikten sonra mümkün olmaktadır. Regresyon katsayıları olarak adlandırılan bu $\boldsymbol{\beta_0, \beta_1, \beta_2, \ldots . \beta_n}$ değerleri ise veri setinden en küçük kareler yöntemiyle elde edilir tıpkı lineer regresyondaki gibi. Denklem 2 ile tahmin hatası sıfıra yaklaştırılmaya çalışılarak y değeri elde edilir.

3.2.3. Polinomsal Lineer Regresyon

Lineer regresyon, enerji üretiminin tahmin edilmesinde yaygın olarak kullanılmış (El Kafazi, vd., 2017) olsa da lineer regresyon, genellikle daha karmaşık tahminlere izin vermeyen tek tip ve doğrusal verileri tahmin etmek için kullanılır (Ahmed, vd., 2018). Bu yüzden girdi ve yanıt değişkenleri arasında doğrusal olmayan üssel bir ilişki olduğu durumlarda lineer regresyon yerine polinomsal regresyonun kullanılması tahmin modelinin veri setine daha iyi uymasını sağlar. N dereceli polinomsal lineer regresyon modeli Denklem 5' e göre oluşturulur Şekil 12' deki gibi ifade edilmiştir.

$$f(x) = y = \boldsymbol{\beta_0} x^0 + \boldsymbol{\beta_1} x^1 + \boldsymbol{\beta_2} x^2, + \boldsymbol{\beta_3} x^3, + .. + \boldsymbol{\beta_n} x^n \quad (5)$$

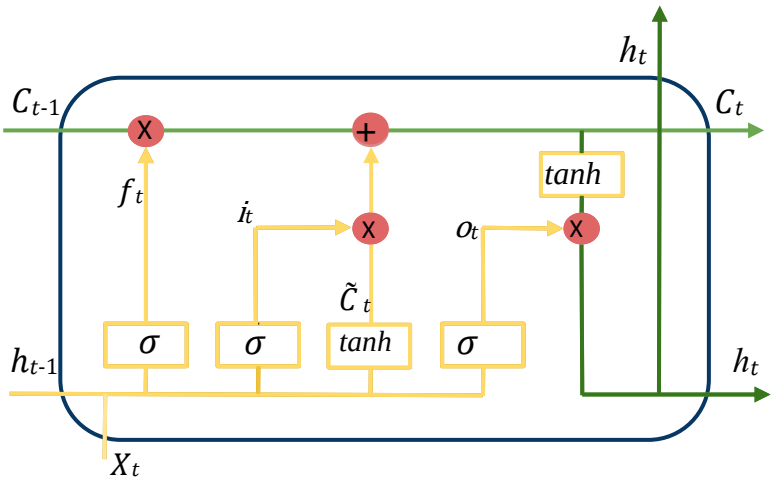


Şekil 12. Polinom eğrisi grafiği ve denklemi

Denklem 5' e göre lineer kısmını $\beta_0, \beta_1, \beta_2, ...\beta_n$ (coefficients) katsayıları ve polinom kısmı ise x^2, x^3,.., x^n x' in üssel ifadeleri tarafından oluşmaktadır. Denklem 5' de x ve y değerleri yerine yazıldığında bu $\beta_0, \beta_1, \beta_2, ...\beta_n$ değerleri bulunur. β_0 (bias) sabiti ise Şekil 12' deki grafiğin y doğrusunu kestiği noktadır, n değeri ise (... $\beta_n x^n$) denklemin derecesini diğer bir deyişle veri setindeki y dışındaki özniteliklerin sayısıdır. Lineer regresyon ve çoklu lineer regresyondaki gibi burada da tahminin hata değeri minimum değere yani sıfıra yaklaştırılmaya çalışılmaktadır. Modelin ne kadar iyi uyduğu, tahmin hata değerinin ne kadar az olduğu ile doğru orantılıdır ve bu durum performans ölçü metrikleriyle hesaplanır.

3.2.4. LSTM

Uzun kısa süreli belleğe (LSTM) sahip tekrarlayan sinir ağları, sıralı verilerle ilgili çeşitli öğrenme problemleri için etkili ve ölçeklenebilir bir model olarak ortaya çıkmıştır. (Greff, Srivastava, Koutnik, Steunebrink ve Schmidhuber, 2016). RNN' nin (reccurrent neural network - özyinelemeli sinir ağı) bir uzantısı olan LSTM, zaman serisi verilerini tahmin etmede güçlü bir kabiliyete sahiptir. LSTM' nin uzun süreli zamana bağlı bilgilerini depolayabilmesi ve giriş ve çıkış verileri arasında uygun şekilde eşleştirebilmesi LSTM ve RNN arasındaki temel farkı oluşturur. LSTM ağ yapısı bilgi akışını kontrol eden bir hücre ve kapılar içerir. Şekil 13' de gösterildiği gibi bir giriş geçidi, bir unutma geçidi, dahili durum (hücre hafızası) ve bir çıkış geçidi içerir (Abbasimehr, vd., 2020).



Şekil 13. LSTM hücresinin yapısı

(Kara, 2019)

Tablo 3.

LSTM hücresindeki fonksiyonların görevleri

İşlem	**Görevi**
x	Bilgi ölçeklendirilir
+	Bilgi eklenir
σ	Hatırlamak / unutmak için kullanılır, 1 ya da 0'dır.
$tanh$	Parametreleri güncellemek için kullanılır
X_t	Girdi
h_{t-1}	Hem girdi hem de bir önceki LSTM ünitesinin çıkışı
C_{t-1}	Önceki LSTM ünitesinden hafıza/hatırlama
C_t	Güncellenmiş yeni hafıza

LSTM mimarisinin arkasındaki ana fikir, durumunu zaman içinde koruyabilen bir bellek hücresi ve hücreye giren / çıkan bilgi akışını düzenleyen doğrusal olmayan geçit birimleridir. Unutma geçidi ve çıkış aktivasyon fonksiyonu, LSTM bloğunun en kritik bileşenleridir. Bunlardan herhangi birinin kaldırılması performansı önemli ölçüde bozar. Çıktı aktivasyon fonksiyonunun, sınırsız hücre durumunun ağda yayılmasını ve öğrenmenin sürekliliğinin bozulmasını önlemek için gerekli olduğu varsayılmıştır (Greff, vd., 2016). LSTM hücresindeki fonksiyonlar ve görevleri Tablo 3'te gösterildiği gibidir.

Birbirini tekrar eden sıralı bloklardan oluşan LSTM mimarisi Şekil 13' de görüldüğü gibi unut, girdi ve çıktı olmak üzere, 3 farklı kapıdan oluşur. Unut kapısı, girdi olarak X_t ve h_{t-1} verilerini alır ve gelen bilginin unutulup unutulmayacağına karar verir. Bunu Denklem 6' ya göre f_t ile yapar ve aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid kullanır.

$$f_t = \sigma(W_{f,x} * X_t + Wf,h * h_{t-1} + b_f) \quad (6)$$

Daha sonra girdi kapısı devreye girerek hangi bilginin depolanacağının kararını verir Denklem 7 ile bilgileri günceller. Ardından yeni bilgi $tanh$ fonksiyonu Denklem 8 tarafından belirlenir. Vanishing gradient (yavaş öğrenme-çok küçük gradient) problemini çözümü için $tanh$ kullanılır (bu problem RNN modelinde bulunmaktadır). Parametreler güncellenirken türev alınır ve $tanh$ ' ın türevinin 0' a ulaşması çok uzun zaman alır. Yeni bilgiler Denklem 9 ile elde edilir.

$$i_t = \sigma(W_{i,x} * X_t + W_{i,h} * h_{t-1} + b_i) \quad (7)$$

$$\tilde{C}_t = tanh(W_{c,x} * X_t + W_{c,h} * h_{t-1} + b_c) \quad (8)$$

$$C_t = C_{t-1} * f_t + i_t * \tilde{C}_t \quad (9)$$

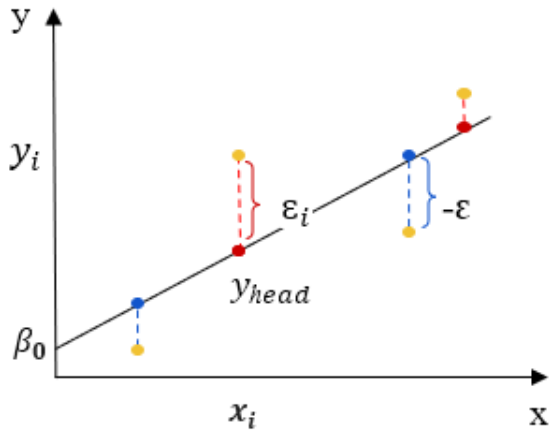
En son çıktı kapısında üretilen çıktı verileri Denklem 10 ve Denklem 11'e göre elde edilir. Bu süreç bias (b) ve ağırlık (W_i) parametreleri en doğru değerlere ulaşana kadar tekrar eder. Bu parametrelerin en doğru değere ulaşması demek modelin en iyi şekilde eğitildiğinin ve LSTM çıktı verileri ile eğitim verileri arasındaki farkın en az olması, çıktının gerçek veriye en yakın değerde olması demektir (Jiao, 2021).

$$o_t = \sigma(W_{o,x} * X_t + W_{o,h} * h_{t-1} + b_o) \quad (10)$$

$$h_t = o_t * tanh(C_t) \quad (11)$$

3.2.5. Performans Ölçü Metrikleri

Bu modellerin doğruluğunu ölçmek için, üç hata ölçütü kullanılır (Ahmed, vd., 2018), ortalama kare hata (mean squared error, MSE), ortalama kare hata karekökü (root mean squared error - RMSE) ve ayrıca belirleme katsayısı (determination coefficient , R^2) olarak da bilinen r_squarred.



Şekil 14. En küçük kareler yöntemi ve ε hata kavramı

Denklem 12, gerçek y değeri ile y_{head} olarak adlandırılan tahmini y değerinin farkı alınarak kareleri toplanır ve n olan veri sayısına bölünmesiyle elde edilir. Burada tahmini ve gerçek y değerlerinin farkı alındıktan sonra karelerinin hesaplanmasının en önemli sebebi, bu farkın negatif değer olabileceği gibi pozitif değer de olmasıdır. Bunun sonucunda da hata değeri gerçek değerinden az çıkabilir, bu yüzden mutlak değerler ile işlem yapılır. Bu durum Şekil 14' te görülmektedir. MSE' de ortaya çıkan değerin az olması, istenen durumdur.

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - y_{head})^2 \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - y_{head})^2} \quad (13)$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (13.1)$$

Denklem 13, RMSE yöntemini gösterir ve MSE' nin karekökünün alınmasıyla elde edilir ve Denklem 13.1'deki gibi de gösterilebilir. RMSE' de de ortaya çıkan değerin az olması, istenen durumdur.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} (y_i - y_{head})^2}{\sum_{i=1}^{n} (y_i - y_{head_ort})^2} \right) \quad (14)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{SSR}{SST} \right) \quad (14.1)$$

Belirleme katsayısı yani R^2 modelin veri setinde bulunmayan örnekleri ne kadar iyi tahmin edeceğinin bir ölçüsüdür ve Denklem 12 ve 13'te gösterilen 2 yöntemden farklı olarak 0 ile 1 arasında değer alır. Denklem 14 ve Denklem 14.1' deki gibi ifade edilir ve şu şekilde ortaya çıkmaktadır; Denklem 2 ve Denklem 3'te bahsedilen SSR ve SST değerlerinin sıfır değerine yaklaştırılması istenen durumdu, öyleyse 0 ve 1 arasında değer alan R^2 için istenen durum (başarılı tahmin için) 1'e yakın değer almasıdır.

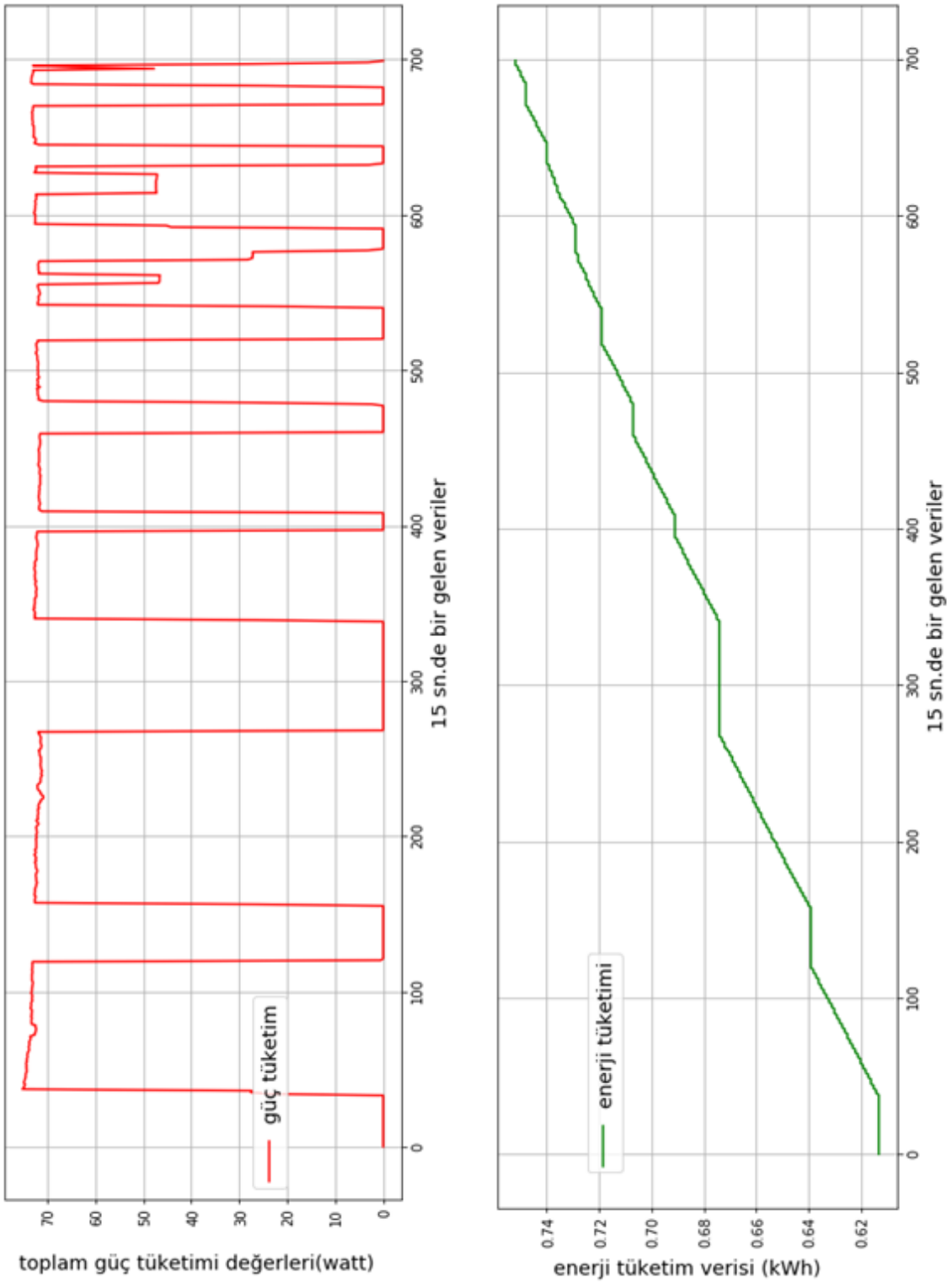
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMA BULGULARI

Sistemimiz üzerine Tablo 2' de belirtilen güç tüketim değerlerine sahip cihazlarımız bağlanmış olup farklı zaman aralıklarında tipik bir ev kullanıcısının kullanım karakteristiğine benzer şekilde rastgele olarak anahtarlanmışlardır. 700 farklı ölçüm 15 saniye aralıklarla yapılmıştır. Aşağıda zamana bağlı olarak yükte harcanan güç, harcanan enerji, alternatif gerilim değerleri, bataryaların gerilim değeri ve yükün çektiği akım değeri değerlerindeki değişimler sırasıyla verilmiştir. Elde edilen veriler üzerinde Polinomsal Lineer Regresyon ve LSTM modelleri ile tahmin işlemlerine tabi tutulmuştur. Polinomsal Lineer Regresyon tüm verilere uygulanırken, LSTM sadece güç ve enerji verilerine uygulanmıştır.

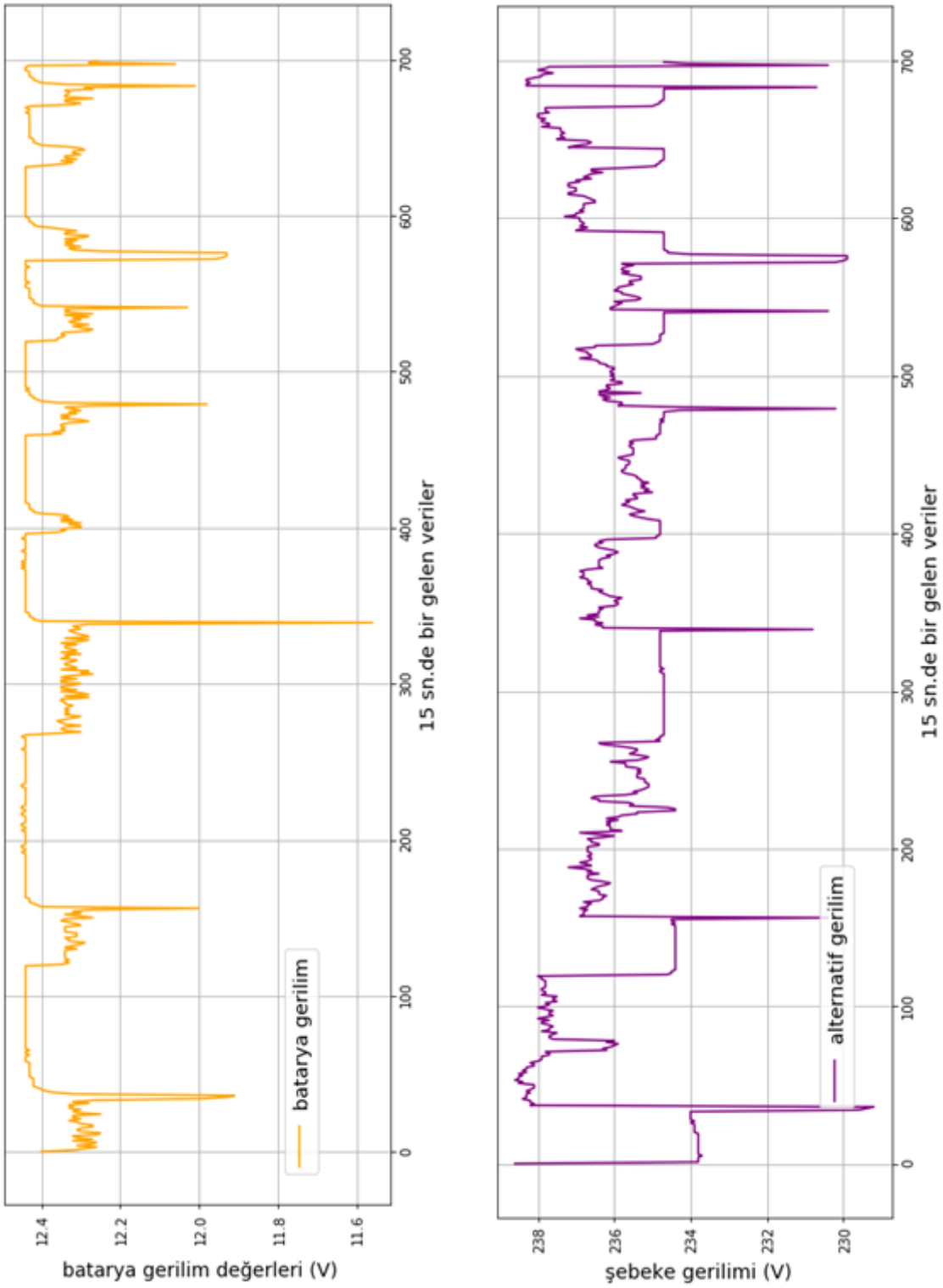
4.1. Elde Edilen Veriler ve Tahmin Sonuçları

Bu çalışmadan elde edilen verilerin görselleştirilmesi Şekil 15, Şekil 16 ve Şekil 17' deki gibidir. Şekillerde sırasıyla güç tüketimi, enerji, şebeke gerilimi ile batarya gerilimi ve akım değerleri yer almaktadır. Cihazların güç tüketim verileri, 0 ile 75 W arasında değer almıştır. Enerji tüketim verisi sürekli artış göstermektedir bunun sebebi ise bir önceki veri ile toplanarak ilerlemesidir. Şekillerden de anlaşılacağı gibi yaklaşık 240 V değerine çıkan görece yüksek gerilim değeri şebekeden sağlanırken düşük gerilim -yaklaşık 12.4 V- bataryadan sağlanmıştır.

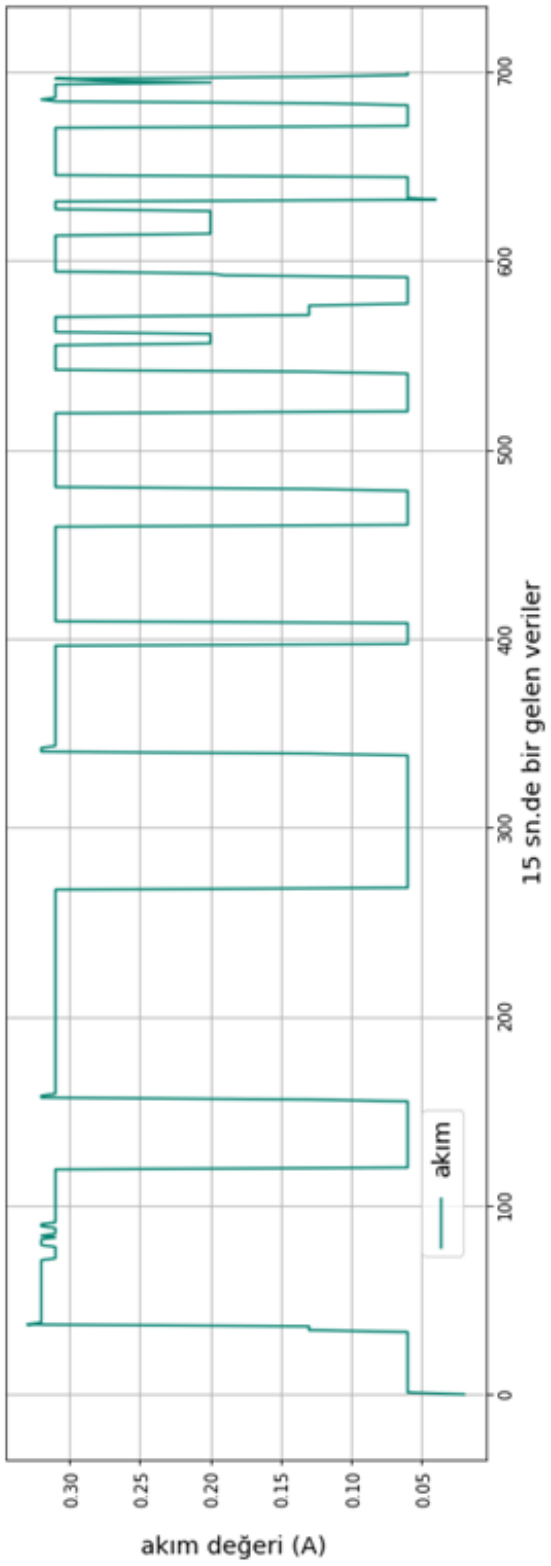
Bu çalışmadan elde edilen güç tüketim, enerji tüketim, şebeke gerilim, batarya gerilim ve akım verilerine Polinomsal Lineer Regresyon yöntemi, güç ve enerji tüketim verilerine ise LSTM yöntemi uygulanarak tahmin sonuçları elde edilmiştir. Polinomsal Lineer Regresyon yöntemi uygulanan güç, enerji tüketim, şebeke gerilim, batarya gerilim ve akım verileri sırasıyla Şekil 18 ve Şekil 19 ve Şekil 20' de gösterilmiştir. Mavi renk ile oluşan modeller tahmin sonuçlarını göstermektedir. Tahmin modelleri belirleme katsayısının en iyi değerlere sahip olduğu (yüksek olduğu) Tablo 5'ten elde edilmiştir. LSTM yöntemi uygulanarak elde edilen tahmin sonuçları ise Şekil 21' de gösterilmiştir. Şekil 21' deki tahmin modeli Tablo 6'daki en düşük rmse değerlerinden meydana gelmiştir.



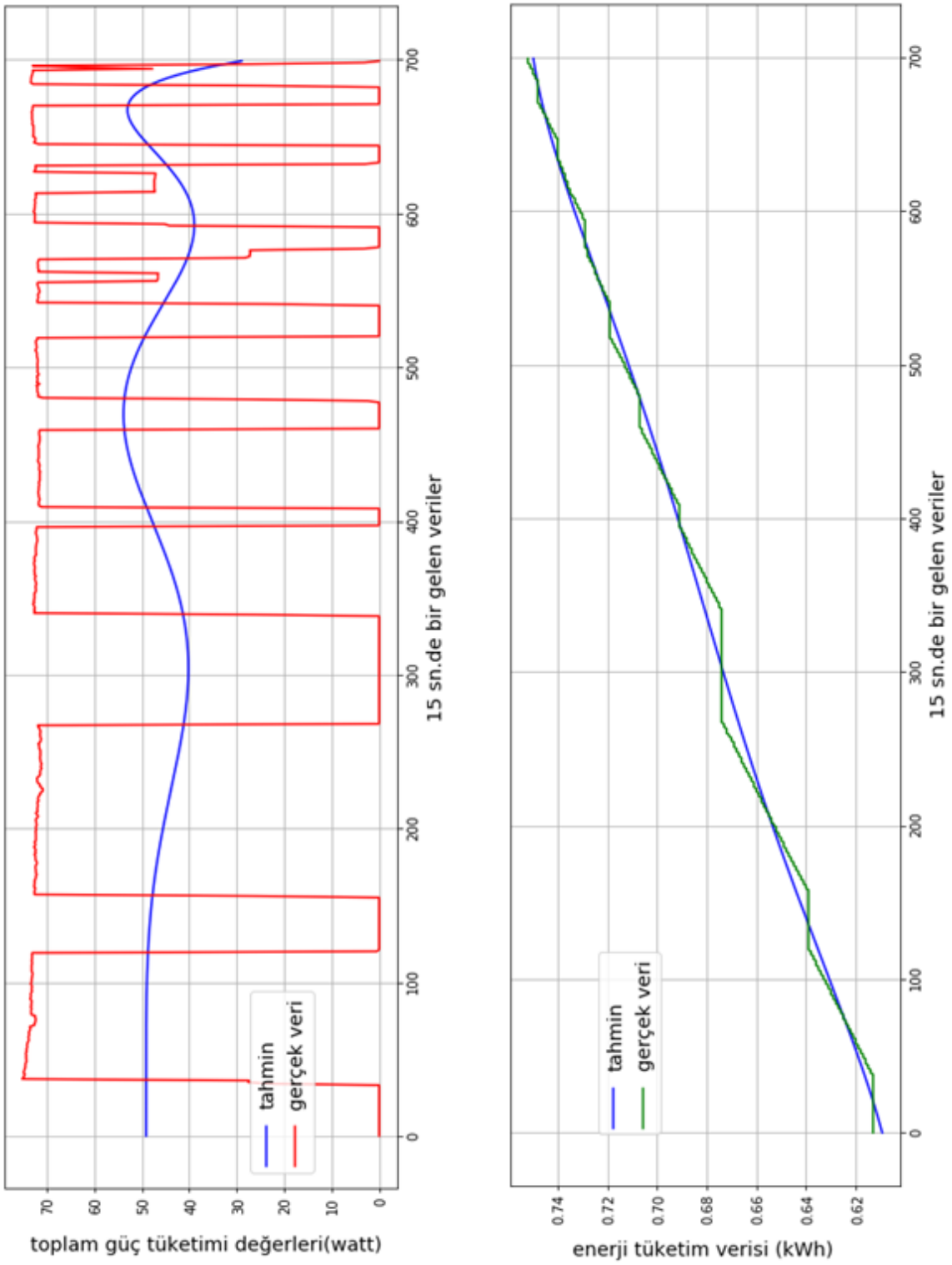
Şekil 15. Cihazlardan elde edilen veriler (güç ve enerji)



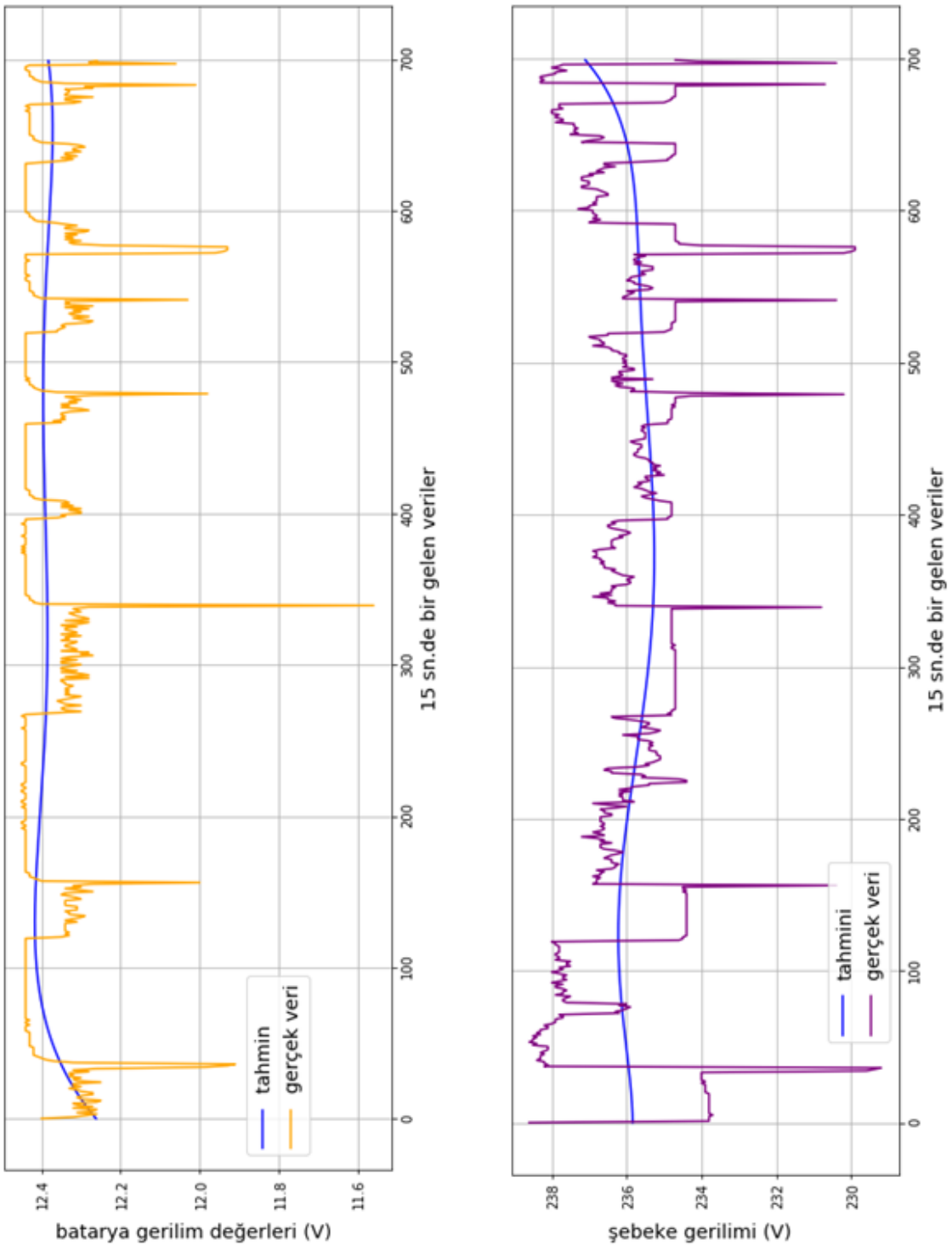
Şekil 16. Cihazlardan elde edilen veriler (batarya ve şebeke gerilim)



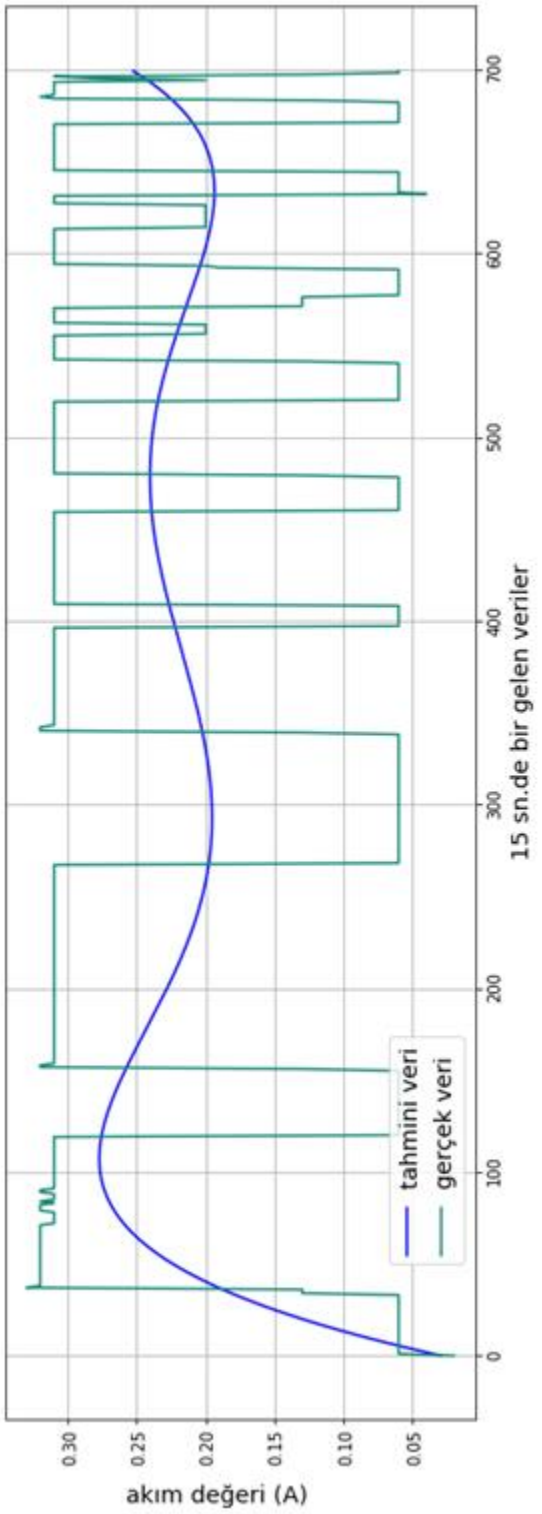
Şekil 17. Cihazlardan elde edilen veriler (akım)



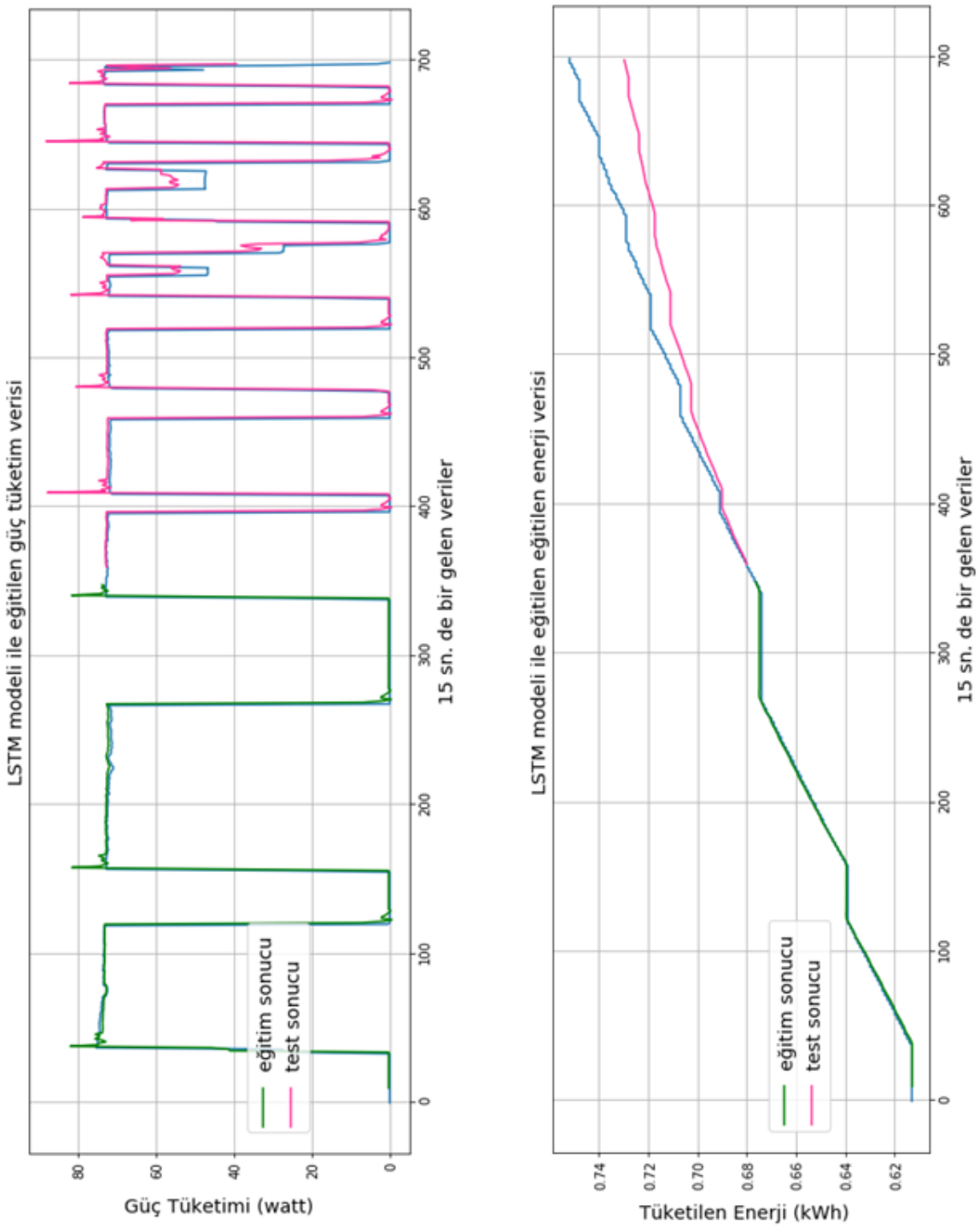
Şekil 18. Polinomsal Lineer Regresyon sonucu oluşan tahmin modelleri (güç ve enerji)



Şekil 19. Polinomsal Lineer Regresyon sonucu oluşan tahmin modelleri (batarya ve şebeke gerilim)



Şekil 20. Polinomsal Lineer Regresyon sonucu oluşan tahmin modelleri (akım)



Şekil 21. Güç ve enerji tüketim değerlerinin LSTM ile eğitilmesiyle elde edilen model

Şekil 21’ de sırasıyla güç tüketim ve enerji tüketim verilerine uygulanan LSTM yöntemi sonu oluşan tahmin modeli görülmektedir. 700 adet verinin yarısı eğitim verisi olarak ayrılarak kalan 350 veri test edilmiştir. Yeşil renk ile gösterilen, eğitim verilerinin tahmini iken pembe renk ise test edilen verilerin tahmin sonucudur. Tablo 6’daki en düşük rmse değerlerine sahip döngü sayıları ile oluşturulmuştur. Güç tüketim için döngü sayısı 60, enerji tüketim için döngü sayısı 40 değerlerine göre oluşturulmuştur.

4.2. Tahmin Sonuçlarının Doğruluk Oranı

Uygulanan tahmin yöntemlerindeki hata değerleri ve doğruluk oranları hesaplanarak tablolarla gösterilmiştir. Tüm verilere uygulanan Polinomsal Lineer Regresyon yönteminin doğruluk oranı r2 belirleme katsayısı ile hesaplanmıştır ve Tablo 4’ de görülmektedir. Tablo 4’ deki en doğru tahmin değerleri ve bu değerleri veren denklemin dereceleri Tablo 5’ de gösterilmiştir.

Tablo 4.

Polinomsal Lineer Regresyon için R^2 (belirleme katsayıları) değerleri

Uygulana veri seti	**n=1**	**n=2**	**n=3**	**n=4**	**n=5**	**n=6**	**n=7**	**n=8**	**n=9**	**n=10**
1. Güç	8.7927	0.0033	0.0130	0.0450	0.0886	0.0373	0.0061	0.0055	0.0155	0.0173
2. Enerji	0.9950	0.9953	0.9956	0.9957	0.9960	0.9965	0.9951	0.9878	0.9750	0.9590
3.Alternatif gerilim	0.0007	0.0279	0.0664	0.0944	0.1511	0.0634	0.0618	0.0807	0.0849	0.0767
4. Batarya gerilimi	1.9947	0.0184	0.0324	0.0543	0.0672	0.0373	0.0106	0.0089	0.0181	0.0230
5. Akım	8.4324	0.0047	0.0142	0.0442	0.0901	0.0383	0.0069	0.0065	0.0174	0.0201

Tablo 5.

En iyi R^2 sonucunu veren n değerleri

Uygulanan veri seti	**R_kare**	**n değeri**
1. Güç	0.088	5
2. Enerji	0.99	6
3. Alternatif gerilim	0.084	5
4. Batarya gerilimi	0.067	5
5. Akım	0.09	5

LSTM yöntemi sadece güç ve enerji verilerine uygulanmıştır. Bu yöntemin tahmin başarısı rmse metriği ile hesaplanmıştır. Güç ve enerji verilerin farklı sayılarda döngüye girerek LSTM ağı eğitilmiştir. Eğitim verilerinin döngü sayısı (ağa gösterilme sayısı) 10 ila 100 arasında değişmektedir. Döngü sayısı değiştikçe farklı hata değerleri meydana gelmiştir. En düşük rmse değerlerini ortaya çıkaran döngü sayıları, güç için 60 olurken enerji için 40'tır. Tüm bu değerler Tablo 6' da gösterilmiştir.

Tablo 6.

Güç ve enerji verilerinin LSTM' deki döngü sayısı ve buna bağlı rmse değerleri

	Güç		**Enerji**	
Döngü Sayısı	Eğitim Score	Test Score	Eğitim Score	Test Score
10	8.09	13.59	0.0007	0.0175
20	7.93	13.49	0.0042	0.0941
30	7.14	12.82	0.0009	0.0150
40	7.04	12.61	0.0007	0.0076
50	6.91	12.56	0.0008	0.0120
60	6.83	12.46	0.0004	0.0118
70	6.95	13.08	0.0003	0.0106
80	6.55	12.54	0.0004	0.0089
90	6.57	12.61	0.0003	0.0078
100	6.58	12.78	0.0005	0.0133

LSTM ile karşılaştırmak için Polinomsal Lineer Regresyon yönteminin rmse değerleri hesaplanarak Tablo 7' de gösterilmiştir. Yalnızca güç ve enerji verilerinin karşılaştırılması yapılacağı için bu iki verinin rmse değerleri ele alınmıştır. En az hata (rmse) değerleri Tablo 5' deki gibi yine aynı n değerleri tarafından meydana gelmektedir.

Tablo 7.

Polinomsal Lineer Regresyon yönteminin rmse değerleri (güç ve enerji verileri için)

Veri seti	**n=1**	**n=2**	**n=3**	**n=4**	**n=5**	**n=6**	**n=7**	**n=8**	**n=9**	**n=10**
1. Güç	33.80	33.75	33.58	33.03	32.27	33.17	33.58	33.71	33.54	33.51
2. Enerji	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026	0.0025	0.0024	0.0028	0.0045	0.0064	0.0083

Tablo 8.

LSTM ve Polinomsal Lineer Regresyon için en düşük rmse değerleri

Uygulanan Veri Seti	**LSTM**		**Polinomsal Lineer Regresyon**
	Eğitim Score	Test Score	
1. Güç	6.83	12.46	33.51
2. Enerji	0.0007	0.0076	0.0024

Güç ve enerji verileri için Tablo 6 ve Tablo 7' den hesaplanan rmse değerlerinin karşılaştırılması ise Tablo 8'de gösterilmiştir. Hangi yöntemin daha başarılı tahmin ürettiği hata değerlerinin 0'a yaklaşmasıyla anlaşılır.

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde her alanda kullanılan elektrikli cihazların sayısındaki artış beraberinde artan enerji talebi ve sonuç olarak güç tüketim maliyetini getirmektedir. Enerji ihtiyacının doğal çözümlerle desteklenmesi sürdürülebilir çevre için oldukça önemlidir. Bunun nedeni fosil yakıtlarına olan bağımlılığı azaltarak sera gazı emisyonu ve neticesinde ortaya çıkan iklim değişikliği problemine çözümsel bir yaklaşım sunmasıdır. Bahsedilen doğal çözüm bu çalışma kapsamında güneş enerjisidir.

Bu çalışmada, akıllı evdeki cihazlar için elektrik ihtiyacının şehir şebekesi yanında güneş enerjisi ile karşılanması amaçlanmıştır. Bunun için prototip bir sistem geliştirilmiştir. Ev kullanıcısının elektrik tüketimine benzetilerek cihazlar çalıştırılmış olup bu cihazların güç tüketim seviyelerine göre elektrik kaynakları arasında geçiş otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Güç ve enerji tüketimi, akım, alternatif gerilim değerleri ve bataryaların durumları anlık olarak ölçülerek ve elde edilen veriler mikrodenetleyici tarafından değerlendirilerek iki farklı enerji kaynağı arasındaki geçiş insan müdahalesi olmadan sağlanmıştır. Ölçülen değerler sistemin ağ bağlantısı ile ThingSpeak bulut ortamına aktarılarak depolanmıştır. Bu depolanan verilerin anliz edilmesiyle ileriye yönelik özellikle güç ve enerji tüketim için tahmin modelleri elde edilmiştir. Polinomsal Lineer Regresyon ve LSTM kullanılarak elde edilen tamin modellerinin hata oranları RMSE metriği ile karşılaştırılmıştır. Polinomsal Lineer Regresyon kullanıldığında güç ve enerji tüketim verileri için sırasıyla 33,51 ve 0,0024 RMSE değerleri elde edilirken LSTM için sırasıyla 12,46 ve 0,0076 RMSE değeri elde edilir. Her ne kadar Polinomsal Lineer Regresyon modeli ile enerji verisi için RMSE değeri 0,052 farkla daha az çıksa da güç tüketim için 21,05 kadar da fazla çıkmıştır ki buna enerji verisinin sürekli olarak artması neden olmuştur ve bu durum yanıltıcı olabilir. Bu yüzden LSTM tahmin yönteminin gelecekteki çalışmalar için daha güvenilir olduğu sonucuna varabiliriz. Son olarak sistemimiz prototip bir özellik gösterdiğinden düşük güç tüketen farklı üç adet cihaz ile denenmiştir. Gelecekteki çalışmalar için batarya, çevirici ve diğer algılayıcıların kapasitelerin arttırılmasıyla çalışmamızın daha büyük ölçekli bir sistem haline getirilmesi mümkündür. Sistemin ilave alternatif enerji kaynakları ile desteklenmeye açık bir yapısı bulunmaktadır.

KAYNAKÇA

Abbasimehr, H., Shabani, M. ve Yousefi, M. (2020). "An optimized model using LSTM network for demand forecasting. Computers & industrial engineering", 143, 106435.

Abdalla, P. A. (2020). IoT Security Issues: A Case Study on Vulnerabilities in Surveillance Smart Cameras. (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi

Abdalla, S. H. (2019). Energy Management System for Smart Home. (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi

Ağıralioğlu, S., ve Ağıralioğlu, N. (2020). "Türkiye'de Enerji ve Politikaları", Takvim-i Vekayi, 8(2), 166-198.

Ahmed, A., Arab, K., Bouida, Z. ve Ibnkahla, M. (2018, May). "Data communication and analytics for smart grid systems", In 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC) (pp. 1-6). IEEE.

Akay, E. Ç., Abdieva, R. ve Oskonbaeva, Z. (2015). "Yenilenebilir enerji tüketimi, iktisadi büyüme ve karbondioksit emisyonu arasındaki nedensel ilişki: Orta Doğu ve Kuzey Afrika ülkeleri örneği", In *International Conference on Eurasian Economies. Çevre ve Enerji* (pp. 628-636).

Aktaş, A. (2016). Şebeke bağlantılı fotovoltaik tabanlı batarya ve ultra kapasitörlü hibrit sistemin akıllı enerji yönetimi. (Doktora tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi

Akusta, E., ve Cergibozan, R. (2020). "Yenilenebilir enerji ve ekonomik büyümenin çevre üzerinde etkisi: Türkiye örneği", Öneri Dergisi, 15(54), 431-462.

Alam, M. R., Reaz, M. B. I. ve Ali, M. A. M. (2012). "A review of smart homes—Past, present, and future", IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, part C (applications and reviews), 42(6), 1190-1203.

Aldrich, F. K. (2003). "Smart homes: past, present and future. In Inside the smart home", (pp. 17-39). Springer, London.

AlFaris, F., Juaidi, A. ve Manzano-Agugliaro, F. (2017). "Intelligent homes' technologies to optimize the energy performance for the net zero energy home. Energy and Buildings", 153, 262-274.

Al-Janabi, M. A. (2018). Design and Implementation of Smart Home Model Using Solar Energy. (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi

Arce, J. M. M., ve Macabebe, E. Q. B. (2019, November). "Real-Time Power Consumption Monitoring and Forecasting Using Regression Techniques and Machine Learning Algorithms", In 2019 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IoTaIS) (pp. 135-140). IEEE.

Asare-Bediako, B., Ribeiro, P. F. ve Kling, W. L. (2012, October). "Integrated energy optimization with smart home energy management systems", in 2012 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe) (pp. 1-8). IEEE.

Başol, G. (2016). Güneş Pili ile Çalışan Mobil Uygulama Destekli Akıllı Ev Otomasyon Sisteminin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi

Bayrak, Z. U. (2014). Evsel Yükler için Yakıt Pili-Güneş Pili Hibrit Sistemin Tasarımı, Modellenmesi ve Uygulaması. (Doktora Tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi

Çelikezen, A.S. (2020). IoT Technologies In Plant Maintenance An Analysis Of Turkey. (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi

Çimen, H., Çetinkaya, N., Vasquez, J. C. Ve Guerrero, J. M. (2020). "A Microgrid Energy Management System based on Non-Intrusive Load Monitoring via Multitask Learning", *IEEE Transactions on Smart Grid*.

Difiglio, C., Güray, B. Ş. ve Merdan, E. (2020). "TURKEY ENERGY OUTLOOK 2020", Sabancı University Istanbul International Center for Energy and Climate.

El Kafazi, I., Bannari, R., Abouabdellah, A., Aboutafail, M. O. ve Guerrero, J. M. (2017, December). "Energy Production: A Comparison of Forecasting Methods using the Polynomial Curve Fitting and Linear Regression", in 2017 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC) (pp. 1-5). IEEE.)

Electrologs. (15 Aralık 2017). Nodemcu Kullanılarak Wifi ile IoT (Nesnelerim İnterneti) Uygulaması. Erişim adresi: https://electrologs.com/2017/12/15/nodemcu-kullanilarak-wi-fi-ile-iot-nesnelerin-interneti-uygulamasi/

Enerji Atlası. (t.y.). Ülkelere Göre Güneş Enerjisi. Erişim adresi: https://www.enerjiatlasi.com/ulkelere-gore-gunes-enerjisi.html

Er, R. N., Uğurlu, B. ve Bayram, U. (2021). "Akıllı Evlerdeki Cihazların Enerji Tüketimine Göre Kaynağının Belirlenmesi", *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, *3*(1), 47-58.

Fidan, C.Ö. (2015). Energy Analysis And Optimization Of A Solar Boat (Yüksek Lisans Tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi

Genel Mekanik. (30 Temmuz 2018). Pv Enerji Sistemleri ve Fotovoltaik Güneş Panelleri. Erişim adresi: https://genelmekanik.com/index.php/2018/07/30/pv-enerji-sistmeleri-ve-fotovoltaik-gunes-panelleri/

Gömez, V., Lange, A. ve Clyncke, J. (2012, September). "Collective implementation of the take-back and recycling obligation for end-of-life PV panels: experience of the European system. In 2012 Electronics Goes Green 2012", (pp. 1-4). IEEE.

Greff, K., Srivastava, R. K., Koutník, J., Steunebrink, B. R. ve Schmidhuber, J. (2016). "LSTM: A search space odyssey. IEEE transactions on neural networks and learning systems", 28(10), 2222-2232.)

Guangul, F. M. ve Chala, G. T. (2019, January). "Solar energy as renewable energy source: SWOT analysis. In 2019 4th MEC International Conference on Big Data and Smart City (ICBDSC)", (pp. 1-5). IEEE.

IEA (2020). Global share of total final consumption by source, 2018. Erişim: 10 Mayıs 2021, https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-share-of-total-final-consumption-by-source-2018

Jiao, Y. (2021, Ocak). "Prediction of fish migration based on LSTM model. In *2021 IEEE International Conference on Power Electronics, Computer Applications (ICPECA)",* (pp. 697-701). IEEE.

Kara, A. (2019). "Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağı Kullanarak Global Güneş Işınımı Zaman Serileri Tahmini", Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 7 (4), 882-892. DOI: 10.29109/gujsc.571831

Karel (2020). Internet of Things (Nesnelerin İnterneti) IoT Nedir? Cihazların Etkileşim Trendleri. Erişim adresi: https://www.karel.com.tr/blog/internet-things-nesnelerin-interneti-nedir-cihazlarin-etkilesim-trendleri

Kashyap, M., Sharma, V. ve Gupta, N. (2018). "Taking MQTT and NodeMcu to IOT: communication in Internet of Things. *Procedia computer science", 132,* 1611-1618.

Key Life Homes. (2020). Erişim adresi: https://keylifehomes.com/7-ways-to-power-your-home-with-renewable-energy/

Kongaz, H. (2007). Akıllı Ev Otomasyonunun Mikrodenetleyici ile Gerçekleştirilmesi. (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi

Lee, H., Park, W. K. ve Lee, I. W. (2014, Mart). “A home energy management system for energy-efficient smart homes”, In 2014 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (Vol. 2, pp. 142-145). IEEE.

Minerva, R., Biru, A. ve Rotondi, D. (2015). “Towards a definition of the Internet of Things (IoT)”, *IEEE Internet Initiative*, *1*(1), 1-86.

Mozumder, M. S., Mourad, A. H. I., Pervez, H. ve Surkatti, R. (2019). “Recent developments in multifunctional coatings for solar panel applications: A review. Solar Energy Materials and Solar Cells”, 189, 75-102.

Oracle. (t.y.). What is IoT? Erişim adresi: https://www.oracle.com/tr/internet-of-things/what-is-iot/

Öztürk, H. H. (2017). “Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler”, Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri, 1, 1-14.

Pavlov, D. (2017). Lead-acid batteries : Science and technology : a handbook of lead-acid battery technology and its influence on the product. ProQuest Ebook Central https://ebookcentral.proquest.com

Peralta, G., Iglesias-Urkia, M., Barcelo, M., Gomez, R., Moran, A. ve Bilbao, J. (2017, May). “Fog computing based efficient IoT scheme for the Industry 4.0”, In 2017 IEEE international workshop of electronics, control, measurement, signals and their application to mechatronics (ECMSM) (pp. 1-6). IEEE.

Safiullin, A., Krasnyuk, L. ve Kapelyuk, Z. (2019, March). “Integration of Industry 4.0 technologies for “smart cities” development”, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 497, No. 1, p. 012089). IOP Publishing.)

Scharler, Hans. (2021, 7 Mayıs). MathWorks. Top ThingSpeak IoT Questions from Google. Erişim adresi: https://blogs.mathworks.com/iot/2021/05/07/top-thingspeak-iot-questions-from-

google/?s_tid=feedtopost&utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+internetofthings+%28Internet+of+Things+-+ThingSpeak%29

Shamim, S., Cang, S., Yu, H. ve Li, Y. (2016, July). "Management approaches for Industry 4.0: A human resource management perspective", In *2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)* (pp. 5309-5316). IEEE.

Singer, S., Denruyter, J. P. ve Yener, D. (2017). The energy report: 100% renewable energy by 2050. In *Towards 100% renewable energy* (pp. 379-383). Springer, Cham.

Singh, M. K., Sajwan, S. ve Pal, N. S. (2017, August). "Solar assisted advance smart home automation", In 2017 International Conference on Information, Communication, Instrumentation and Control (ICICIC) (pp. 1-6). IEEE.

Sonandkar, V., Bhati, A., Gupta, D., Chouhan, S., Kinhekar, N. ve Padhy, N. P. (2016, March). "Power measurement using arduino for effective demand response", In 2016 IEEE 6th International Conference on Power Systems (ICPS) (pp. 1-5). IEEE.

Stevens, Laura (2018, 3 Aralık). What is a smart home? How your future family house will look and think. Erişim adresi: https://home.bt.com/tech-gadgets/internet/connected-home/what-is-a-smart-home-11364214165664

Syed, M. A. (2016). Utility-scale Solar Energy Use Optimization by Using a Home Energy Management System. (Doktora Tezi). The University of Alabama, Birmingham, ABD

Şerbetli, S. (2016). Fotovoltaik panellerde güç üretiminin gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve verilerin saklanması. (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi

ThingSpeak. (t.y.). Learn More About ThingSpeak. Erişim adresi: https://thingspeak.com/pages/learn_more

Understandsolar. (2018, Kasım 6). Top 7 Disadvantages of Solar Energy. Erişim adresi: https://understandsolar.com/advantages-vs-disadvantages-solar-power/

Understandsolar. (t.y). Why Are Solar Panels Inefficient? Erişim adresi: https://understandsolar.com/why-solar-panels-inefficient/

Vivint. (2015, 26 Temmuz). What is a Smart Home? Erişim adresi: https://www.vivint.com/resources/article/what-is-a-smart-home

Yıldız, M. S. (2019). Sıfır Enerjili Akıllı Ev Tasarimi. (Yüksek lisans tezi). Erişim adresi: https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi

EKLER

“Elektrik Enerjisi Kaynaklarının Güç Tüketimine Göre Kaynağının Otomatik Olarak Belirlenmesi”, Ulusal bildirisi ile “Akıllı Evlerdeki Cihazların Enerji Tüketimine Göre Kaynağının Belirlenmesi” dergi makalesi bu tez çalışmasından üretilmiştir.