

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KARA TAŞITLARINDA GÜNEŞ PANELLERİ KULLANILARAK
ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ**

BEYZA KARABATAK

KOCAELİ 2024

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KARA TAŞITLARINDA GÜNEŞ PANELLERİ KULLANILARAK
ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM POTANSİYELİNİN
BELİRLENMESİ

BEYZA KARABATAK

Doç.Dr. Mehmet Zeki BİLGİN
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Prof.Dr. Bekir ÇAKIR
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Doç.Dr. Mehmet Fatih NUROĞLU
Jüri Üyesi, KTÜ

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 27.06.2024

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmada,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler tarafından no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

(İmza)

Beyza KARABATAK

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır.

Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.
- Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

(İmza)

Beyza KARABATAK

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Günümüzde teknolojinin hızla ilerlemesi ve dünya nüfusundaki artış, enerji talebinin de giderek artmasına neden olmuştur. Bu durum, fosil türevli enerji rezervlerinin tükenmesine yol açmaktadır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji üretimi için önem arz etmektedir. Güneş enerjisi, fosil türevli enerji kaynaklarına alternatif oluşturarak daha sürdürülebilir ve sağlıklı bir gelecek için önemli bir rol oynamaktadır. Bu tez çalışmasında, kara taşıtlarının tavan yüzeylerine güneş panellerinin entegre edilmesi durumunda üretilecek enerjinin potansiyeli değerlendirilmiş ve sistemin maliyet analizi gerçekleştirilerek çalışmanın fizibilitesi incelenmiştir.

Yüksek lisans eğitimim süresince, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, tez çalışma konumun belirlenmesi, planlanması, araştırılması ve yazılmasındaki her aşamada değerli görüşleriyle beni yönlendiren ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç.Dr. Mehmet Zeki BİLGİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım boyunca desteğini hep hissettiğim yol arkadaşım Beytullah BOZKIR'a ve eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, her daim yanımda olan değerli aileme teşekkür ederim.

Haziran – 2024

Beyza KARABATAK

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ.....	i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GÜNEŞ ENERJİSİ	4
2.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli	5
3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER	7
3.1. Fotovoltaik Hücre Çeşitleri	8
3.1.1. Kristal Silikon Hücreler	9
3.1.1.1. Monokristal Silikon Hücreleri	10
3.1.1.2. Polikristal Silikon Hücreleri.....	11
3.1.2. İnce Film Güneş Panelleri.....	11
4. BATARYALAR.....	13
4.1. Birincil (Tek Kullanımlık) Bataryalar.....	14
4.2. İkincil Bataryalar.....	14
4.2.1. Kurşun-Asit Batarya Teknolojisi	15
4.2.2. Nikel kadmiyum Batarya Teknolojisi	15
4.2.3. Nikel Metal Hidrit Batarya Teknolojisi	15
4.2.4. Lityum İyon Polimer Batarya Teknolojisi	16
4.2.5. Lityum İyon Batarya Teknolojisi.....	16
4.2.5.1. Lityum-Kobalt Oksit (LCO, LiCoO ₂) Bataryalar.....	17
4.2.5.2. Lityum Manganez Oksit (LMO, LiMn ₂ O ₄) Bataryalar	17
4.2.5.3. Lityum-Demir-Fosfat (LFP, LiFePO ₄) Bataryalar	18
4.2.5.4. Lityum-Nikel-Kobalt Alüminyum (NCA, LiNiCoAlO ₂) Bataryalar	18
4.2.5.5. Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit (NMC, LiNiMnCoO ₂) Bataryalar	19
4.2.5.6. Lityum-Titanyum-Oksit (LTO, Li ₂ TiO ₃) Bataryalar	19
5. MPPT TABANLI ŞARJ KONTROL CİHAZI	21
6. SİSTEM TASARIM BÖLÜMÜ.....	23
6.1. Esnek Güneş Paneli	24
6.2. Araç Metrajına Göre Kullanılacak Panel Sayısının Hesaplanması.....	24
6.3. Otobüs Tipi Araçlar	25
6.3.1. TÜİK Verilerine Göre Güncel Otobüs Sayısı	25
6.3.2. Otobüs Üzerine Panel Yerleştirme.....	25
6.3.3. Güneş Panellerinin Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi	26
6.4. Büyük Hacimli Araçlar	30
6.4.1. TÜİK Verilerine Göre Güncel Kamyon Sayısı.....	31
6.4.2. Kamyon Üzerine Panel Yerleştirme	31

6.4.3. Güneş Panellerinin Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi	31
6.4.3.1. Kış Mevsimi İçin Enerji Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi	32
6.4.3.2.İlkbahar Mevsimi İçin Enerji Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi	34
6.4.3.3.Yaz Mevsimi İçin Enerji Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi	36
6.4.3.4. Sonbahar Mevsimi İçin Enerji Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi.....	37
6.5. Minibüs Tipi Araçlar.....	39
6.5.1. TÜİK Verilerine Göre Güncel Minibüs Sayısı	40
6.5.2. Minibüs Üzerine Panel Yerleştirme.....	40
6.5.3. Güneş Panellerinin Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi	41
7. SİSTEM BİLEŞENLERİNE AİT MALİYET ANALİZİ.....	43
7.1. Güneş Paneli Maliyeti.....	43
7.2. Bağlantı ve Montaj Ekipmanı Maliyetleri	44
7.3. MPPT Şarj Kontrol Cihazı Seçimi ve Maliyeti	45
7.4. DC-DC Dönüştürücü Seçimi ve Maliyeti	46
7.5. Lityum İyon Batarya Maliyeti.....	46
7.6. Toplam Maliyet Analizi	48
7.7. Yıllık Enerji Üretim Analizi	48
7.8. Yıllık Tasarruf ve Geri Dönüş Süresi	49
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR.....	53
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlası.....	5
Şekil 2.2.	Türkiye'nin aylık ortalama güneşlenme süreleri.....	6
Şekil 2.3.	Türkiye'nin aylık ortalama küresel radyasyon değerler.....	6
Şekil 3.1.	PV hücre, modül, panel, dizi gösterimi.....	7
Şekil 3.2.	Fotovoltaik hücre çeşitleri.....	9
Şekil 3.3.	Polikristal ve monokristal güneş paneli.....	10
Şekil 4.1.	Bataryanın şematik gösterimi.....	13
Şekil 4.2.	Elektrikli araçlar için batarya teknolojisinin evrimi.....	19
Şekil 5.1.	Güneş enerjisi şarj sisteminin blok diyagramı.....	21
Şekil 6.1.	Sistem tasarımına yönelik akış diyagramı.....	23
Şekil 6.2.	Esnek güneş paneli.....	24
Şekil 6.3.	Şehirlerarası otobüs modeli.....	25
Şekil 6.4.	Otobüsün tavan yüzey görüntüsü.....	26
Şekil 6.5.	Otobüslerin kalkış ve varış saatleri.....	27
Şekil 6.6.	İllerin saatlik küresel güneş radyasyon değerleri.....	28
Şekil 6.7.	Büyük hacimli taşıt modeli.....	31
Şekil 6.8.	07.01.2024 tarihine ait saatlik küresel güneş ışınım grafiği.....	32
Şekil 6.9.	11.05.2023 tarihine ait saatlik küresel güneş ışınım grafiği.....	34
Şekil 6.10.	12.07.2023 tarihine ait saatlik küresel güneş ışınım grafiği.....	36
Şekil 6.11.	08.10.2023 tarihine ait saatlik küresel güneş ışınım grafiği.....	37
Şekil 6.12.	Dört mevsim için üretilen toplam enerji dağılım grafiği.....	39
Şekil 6.13.	Şehir içi minibüs modeli.....	40
Şekil 6.14.	Ordu iline ait saatlik küresel güneş ışınım grafiği.....	41
Şekil 7.1.	Lityum iyon batarya maliyetlerinin yıllara göre değişimi.....	47

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 4.1. Lityum iyon batarya kullanan elektrikli araçlar	20
Tablo 6.1. Yolculuk süreleri.....	27
Tablo 6.2. İllerin saatlik küresel güneş radyasyon (W/m ²) değerleri.....	28
Tablo 6.3. Güneş panellerinden üretilen enerjinin güzergâh bazlı dağılımı.....	30
Tablo 6.4. Şehirler arası geçiş süreleri.....	32
Tablo 6.5. Kış mevsimine ait saatlik bazda üretilen toplam enerji (Wh).....	33
Tablo 6.6. İlkbahar mevsimine ait saatlik bazda üretilen toplam enerji (Wh).....	35
Tablo 6.7. Yaz mevsimine ait saatlik bazda üretilen toplam enerji (Wh).....	36
Tablo 6.8. Sonbahar mevsimine ait saatlik bazda üretilen toplam enerji (Wh).....	38
Tablo 6.9. Ordu iline ait aylara göre üretilen enerji.....	42
Tablo 7.1. Esnek güneş panelinin özellikleri.....	43
Tablo 7.2. Dört mevsim için üretilen bir günlük enerji.....	48
Tablo 7.3. Yıllık üretim değerleri.....	48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Amper
CdTe	: Kadmiyum Tellürid
E	: Üretilen Enerji
G	: Küresel Güneş Işınım Değeri
I _{sc}	: Kısa Devre Akımı
I _{mp}	: Maksimum Güç Akımı
Kg	: Kilogram
kWh/m ²	: Metrekareye düşen kilowatt saat cinsinden enerji miktarı
kW	: Kilo-Watt
Li ₂ TiO ₃	: Lityum Titanat
LiCoO ₂	: Lityum Kobalt Oksit
LiFePO ₄	: Lityum Demir Fosfat
LiMn ₂ O ₄	: Lityum Manganez Oksit
LiNiCoAlO ₂	: Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit
LiNiMnCoO ₂	: Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit
m ²	: Metrekare
mm	: Milimetre
NiCd	: Nikel Kadmiyum
NiMH	: Nikel Metal Hidrit
P _{max}	: Maksimum Güç
t	: Güneşlenme Süresi
V	: Volt
V _{OC}	: Açık Devre Gerilimi
V _{mp}	: Maksimum Güç Voltajı
W/m ²	: Metrekareye düşen güç
Wh	: Watt-saat
Wp	: Watt-peak
\$: Amerikan Doları
η	: Güneş Panelinin Enerji Dönüşüm Verimliliği

Kısaltmalar

a-Si	: Amorphous Silicon (Amorf Silikon)
AWG	: American Wire Gauge (Amerikan Tel Ölçüsü)
CIGS	: Copper Indium Gallium Selenide (Bakır, İndiyum, Galyum, Selenyum)
c-Si	: Crystalline Silicon (Kristal Silikon)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
IBC	: Interdigitated Back Contact (Birleştirilmiş Arka Kontak)
kWh	: Kilo-watt-saat
LCO	: Lityum Kobalt Oksit
LFP	: Lityum Demir Fosfat
Li-ion	: Lityum İyon

LiPO	: Lityum İyon Polimer
LMO	: Lityum Manganez Oksit
LTO	: Lityum Titanat
MC4	: Multi-Contact 4
MGNİ	: Maksimum Güç Noktası İzleme
MPPT	: Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası Takibi)
NCA	: Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit
NMC	: Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
PV	: Photovoltaic (Fotovoltaik)
T.C.	: Türkiye Cumhuriyeti
TL	: Türk Lirası
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
USD	: United States Dollar (Amerikan Doları)
UV	: Ultraviolet (Morötesi)

KARA TAŞITLARINDA GÜNEŞ PANELLERİ KULLANILARAK ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Ülkemiz, coğrafi konumu itibariyle önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Güneş enerjisi, fosil türevli yakıtlara dayalı enerji kaynaklarına önemli bir alternatif oluşturarak daha sürdürülebilir, sağlıklı bir gelecek için kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, güneş enerjisine yönelik projelerin ve bu alana yapılan yatırımların desteklenmesi, gelecekteki enerji güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışma, kara taşıtlarının (tır, kamyon, otobüs, minibüs) tavan yüzeyine güneş panelleri entegre edilerek güneş enerjisi üretim potansiyelini inceleyen bir sistem kurgusu sunmayı amaçlamaktadır. Kurgulanan bu çalışmada, ele alınan taşıtların tahmini güzergâh bilgileri belirlenmiş ve araç üstü uygulama için en uygun güneş paneli seçimi yapılmıştır. Panelin ve ele alınan taşıtların boyutu ve tasarımsal özellikleri göz önünde bulundurularak yapılan alan hesabı sonucunda, araçların tavan yüzeylerine entegre edilecek güneş panellerinin toplam sayısı belirlenmiştir. Güneş panellerinin elektrik enerjisi üretim potansiyelini hesaplayabilmek için, bulunulan bölgenin günlük ve saatlik güneş ışınım değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler, T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün veri havuzundan temin edilmiştir. Enerji üretim hesaplamalarında, küresel güneş ışınım değeri ve güneşlenme süresi gibi faktörlerin yanı sıra, güneş panelinin yüzey alanı ve verimlilik oranı da bilinmelidir. Taşıtların seyahat ettiği güzergâhlara özgü, buldukları illerin güneş ışınım verileri ve güneşe maruz kaldığı saat aralıkları dikkate alınarak elektrik enerjisi üretim hesaplaması gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplamalar, farklı iller ve tarihler için yapılmış olup, bu bölgelerdeki güneş panelleri aracılığıyla ne kadar kWh elektrik üretilebileceği detaylı olarak incelenmiştir. Panellerden üretilen enerjinin maliyet analizi ve bu çalışmanın fizibilitesi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrik Üretimi, Güneş Panelleri, Kara Taşıtları.

DETERMINING THE POTENTIAL FOR ELECTRICITY PRODUCTION USING SOLAR PANELS ON LAND VEHICLES

ABSTRACT

Due to its geographical location, our country possesses significant solar energy potential. Solar energy offers a crucial alternative to fossil-based energy sources, playing a critical role in ensuring a more sustainable and healthier future. In this context, supporting solar energy projects and investments in this domain is of paramount importance for future energy security and environmental sustainability.

This study aims to present a system design that examines the potential for solar energy production by integrating solar panels onto the roof surfaces of land vehicles (trucks, buses, minibuses). In this study, the estimated route information of the selected vehicles was determined, and the most suitable photovoltaic cell for the vehicle-mounted application was selected. Considering the size and design features of the cells and the selected vehicles, the total number of photovoltaic cells to be integrated onto the roof surfaces of the vehicles was determined through area calculations. To calculate the electricity production potential of the solar panels, daily and hourly solar radiation values of the region are required. These data were obtained from the database of the Turkish State Meteorological Service. In energy production calculations, factors such as global solar radiation value and sunlight duration, as well as the surface area and efficiency rate of the photovoltaic cell, must be known. Electricity production calculations were performed based on the solar radiation data and the sunlight exposure periods of the provinces through which the vehicles traveled. These calculations were conducted for different provinces and dates, detailing how many kilowatt-hours of electricity could be generated via solar panels in these regions. The cost analysis of the energy produced by the panels and the feasibility of this study were also examined.

Keywords: Electricity Production, Solar Panels, Land Vehicles.

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi, modern toplumların temel unsurlarından biri olup, gündelik yaşamdan sanayiye kadar geniş bir yelpazede kritik bir rol üstlenmektedir. Elektriğin iletimi, kullanımı ve denetiminin kolay olması, elektrik enerjisinin diğer enerji türlerine kıyasla tercih edilmesinin başlıca nedenlerinden biridir. Ayrıca, elektrik enerjisi çeşitli enerji kaynaklarından üretilebilmekte ve birçok enerji formuna dönüştürülebilmektedir. Türkiye gibi enerjide dışa bağımlı ülkelerde ise bu kaynakların yerel ve yenilenebilir olanlarının kullanılması büyük bir önem arz etmektedir.

Günümüzde elektrik enerjisi, yaşam kalitesinin yükseltilmesinde hayati bir öneme sahiptir. Konutlarımızda kullanılan aydınlatma, ısıtma ve soğutma sistemleri, elektronik cihazlar ve mutfak gereçleri gibi pek çok unsur, elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Bu enerji, sağlık hizmetlerinden eğitim sistemlerine kadar geniş bir alanda temel ihtiyaçların karşılanmasını mümkün kılmaktadır. Sanayi sektörü açısından da elektrik enerjisi vazgeçilmezdir. Üretim süreçlerinin büyük bir kısmı elektrikle çalışan makineler ve cihazlar aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Sanayideki bu yüksek enerji talebi, ekonomik büyüme ve verimlilik için elektrik enerjisinin sürekli ve güvenilir bir şekilde temin edilmesini zorunlu kılmaktadır. Elektrik enerjisinin yokluğunda, sanayi üretiminde duraksamalar yaşanabilir ve bu durum ekonomik kayıplara neden olabilir. Elektrik enerjisinin sosyal ve ekonomik gelişimdeki rolü de büyüktür. Elektrik enerjisi, eğitim ve sağlık hizmetlerine erişimi kolaylaştırarak yaşam standartlarını yükseltmektedir.

Teknolojik gelişmelerin ilerlemesiyle beraber elektrik enerjisi üretiminde fosil türevli kaynak kullanımı yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmaya başlamıştır. Bu enerji kaynakları arasında elektrik üretim potansiyeli en yüksek olan güneş enerjisidir.

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde meydana gelen nükleer füzyon reaksiyonlarının bir sonucu olarak ortaya açığa çıkan ışıma enerjisidir. Bu reaksiyonlar sonucu büyük miktarda enerji açığa çıkar ve bu enerji, ışık ve ısı olarak dünyaya ulaşır. Güneş enerjisi, bu ışık ve ısının çeşitli yöntemlerle toplanarak elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilir. Güneş enerjisinden elektrik üretmeyi sağlayan fotovoltaiik (PV) paneller, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir.

Bunun yanı sıra, konsantre güneş enerjisi sistemleri de güneş ışığını yoğunlaştırarak buhar türbinlerini çalıştırmakta ve elektrik üretmektedir.

Ülkemizin coğrafi konumu, farklı iklim çeşitlerinin görülmesine olanak sağlamaktadır. Türkiye'nin büyük bir bölümü Akdeniz iklimi etkisi altındadır, bu da yazların sıcak ve kurak, kışların ise ılıman ve yağışlı geçmesini sağlar. İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinde ise karasal iklim hâkimdir, burada kışlar soğuk ve sert, yazlar ise sıcak ve kuraktır. Karadeniz kıyılarında ise Karadeniz iklimi etkili olup, yıl boyunca yağışlı ve nemli hava hâkimdir. Bu çeşitlilik, Türkiye'nin çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksektir. Ülkemiz, yıllık ortalama 2741 saat ve günlük ortalama 7,5 saat güneşlenme süresi ile güneş enerjisinden faydalanmak için uygun bir coğrafi konuma sahiptir. Güneydoğu Anadolu, Akdeniz ve İç Anadolu bölgeleri, güneş enerjisi potansiyelinin en yüksek olduğu bölgelerdir. Bu bölgelerdeki yüksek güneşlenme süresi, fotovoltaik panellerin ve diğer güneş enerjisi sistemlerinin verimli bir şekilde kullanılmasına olanak tanır.

Türkiye, enerjide büyük ölçüde dışa bağımlı bir ülke olup, enerji ithalatı maliyeti ekonomiye önemli bir yük getirmektedir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı stratejik bir öneme sahiptir. Ülkemizin coğrafi konumu ve iklim özellikleri göz önünde bulundurulduğunda güneş enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla yüksek potansiyele sahip olmasıyla öne çıkmaktadır.

Güneş enerjisinden elektrik üretiminin artırılması, birkaç önemli nedenle gereklidir. Güneş enerjisinden elektrik üretimi, Türkiye'nin enerji güvenliğini artırmak için kritik bir rol oynamaktadır. Enerjide dışa bağımlılığı azaltarak, ülkenin enerji arz güvenliğini sağlamaya katkıda bulunur. Bu durum, dış kaynaklardan gelen enerjiye bağımlılığı azaltarak, enerji arzında yaşanabilecek kesintilere karşı daha dirençli bir yapı oluşturur. Güneş enerjisi, uzun vadede ekonomik faydalar sağlar. Güneş panellerinin kurulum maliyetleri düşmeye devam ederken, bakım maliyetleri düşük ve ömürleri uzundur. Bu durum, güneş enerjisi projelerini uzun vadede karlı hale getirmektedir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji ithalatına harcanan döviz miktarını azaltarak, ülke ekonomisine olumlu katkı sağlar.

Güneş enerjisinin bir diğer önemli avantajı ise, fosil türevli yakıtlara kıyasla çevre dostu ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olmasıdır. Karbon salınımı minimize edilerek, iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi çevresel sorunların önlenmesine katkıda bulunur. Türkiye'nin Paris İklim Anlaşması gibi uluslararası çevre taahhütlerine uyum sağlaması açısından da güneş enerjisi kritik bir rol oynar. Güneş enerjisi sektörünün gelişimi, teknolojik ilerlemelere ve istihdam olanaklarına da katkıda bulunur.

Sonuç olarak, elektrik enerjisi modern toplumun bel kemiği olup, hayatın her alanında vazgeçilmez bir rol oynamaktadır. Türkiye'nin iklimsel özellikleri, güneş enerjisinden elektrik üretimi için büyük bir potansiyel sunmaktadır. Güneş enerjisinin kullanımı, enerji güvenliğini artırmakta, ekonomik faydalar sağlamakta, çevresel sürdürülebilirliği desteklemekte ve teknolojik gelişime katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle, enerji kaynaklarının yönetimi ve enerji teknolojilerinin geliştirilmesi, güneş enerjisinin kullanımının artırılması da dâhil olmak üzere, gelecekte büyük bir önem taşımaktadır.

Bu yüksek lisans tez çalışması, kara taşıtlarının tavan yüzeyine güneş panelleri entegre edilerek elektrik enerjisi üretim potansiyelini inceleyen bir sistem kurgusu sunmayı amaçlamaktadır. T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen günlük ve saatlik güneş ışınım verileri, elektrik üretimi için kullanılan matematiksel eşitlikteki diğer parametre değerleri belirlenmiştir. Bu veriler kullanılarak, ele alınan her taşıt türü için farklı güzergâhlar ve tarihler seçilerek elektrik üretim potansiyeli değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, farklı mevsimler ve tarihler için enerji üretim hesaplamaları yapılmış ve bu hesaplamalar sonucunda elde edilen elektrik üretim sonuçları analiz edilmiştir. Bununla birlikte teorik olarak hesaplanan enerji üretim değerlerinin gerçek hayatta uygulanabilirliği üzerine değerlendirmeler yapılarak kurgulanan sistemin maliyet ve verimliliği üzerine fizibilite değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde meydana gelen nükleer füzyon reaksiyonlarının bir sonucu olarak ortaya açığa çıkan ışıma enerjisidir. Güneşin içindeki hidrojen atomları, yüksek sıcaklık ve basınç altında bir araya gelerek helyum atomlarına dönüşür ve bu dönüşüm sırasında büyük bir enerji açığa çıkar (Bahcall,2001). Oluşan bu enerji, güneşin çevresine ısı ve ışık olarak yayılarak dünya üzerindeki yaşamın devamı ve birçok enerji ihtiyacının karşılanması için kritik bir doğal kaynak oluşturur.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir potansiyele ve yaygın kullanıma sahip olan güneş enerjisi, temel enerji kaynaklarından biri olarak fosil yakıtlara dayalı enerji kaynaklarına önemli bir alternatif sunarak, daha temiz ve sağlıklı bir gelecek için kritik rol oynar. Bu enerji türü genellikle iki temel hedefe yönelik kullanılmaktadır: Bunlar ısı enerjisi dönüşümü ve elektrik enerjisi üretimidir.

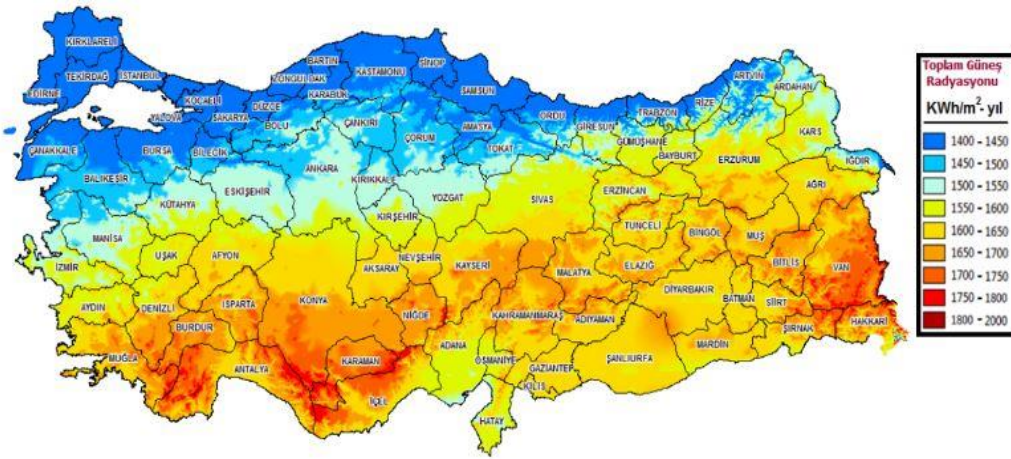
Isı enerjisi dönüşüm sistemlerinde, güneş enerjisinin ışık ve ısı bileşenleri kullanılarak su veya hava gibi ortamlar ısıtılmakta ve böylece enerji üretilmektedir. Elektrik enerjisi üretim sistemlerinde ise, güneş panelleri aracılığıyla güneş ışığının doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesi hedeflenir. Her iki kullanım yöntemi de çevre dostu ve sürdürülebilir enerji üretimi sağlarken aynı zamanda enerji maliyetlerini düşürerek ülkelerin enerji konusunda dışa bağımlılığını önemli ölçüde azaltır. Güneş enerjisinin bu iki temel doğrultusunda kullanılması, enerji üretiminde çevresel sürdürülebilirliğe büyük katkılar sunmakta ve bu enerji kaynağının enerji sektöründe geniş kapsamlı bir rol üstlenmesini mümkün kılmaktadır.

Geçmiş yıllarda, güneş panellerinin düşük verimlilik ve yüksek maliyet gibi önemli dezavantajları nedeniyle hem ülkemizde hem de dünya genelinde güneş enerjisi tesislerine yapılan yatırımlar sınırlı kalmıştır. Ancak, teknolojiye gelişmeler sayesinde güneş panellerinin verimliliği artırılmış ve maliyetleri daha ekonomik hale getirilmiştir. Bu gelişmeler sonucunda hem ülkemizde hem de dünya genelinde güneş enerjisi santrallerinin sayısı ve üretim kapasitelerinde belirgin bir artış gözlenmiştir.

2.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ülkemiz, coğrafi konumundan kaynaklanan avantajları sayesinde, önemli bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı resmi verilerine göre, 2024 yılı mart ayı sonu itibarıyla Türkiye'nin toplam elektrik kurulu gücü 107.959 MW'a ulaşmıştır. Bu kapasitenin %29,6'sı hidrolik enerjiden, %23,2'si doğal gazdan, %20,2'si kömürden, %11,7'si güneş enerjisinden, %11,2'si rüzgârdan, %1,6'sı jeotermal enerjiden ve %2,5'i diğer kaynaklardan sağlanmaktadır (URL-1). Güneş enerjisinin toplam kapasitedeki %11,7'lik payı, ülkemizde güneş enerjisine yapılan yatırımların arttığını göstermektedir. 2023 yılı verilerine göre, Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2741 saat, günlük ortalama güneşlenme süresi ise 7,5 saattir. Bunun yanı sıra, yıllık ortalama güneş ışınım değeri 1.527,46 kWh/m² olarak kaydedilmiştir (URL-2).

Şekil 2.1'de Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) verilmiştir.



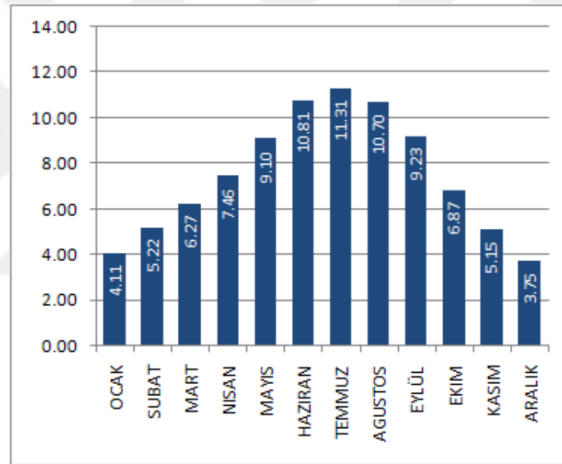
Şekil 2. 1.Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel atlası

Şekil 2.1 incelendiğinde, güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre farklılık gösterdiği görülmektedir. Haritada, mavi renkle gösterilen bölgeler güneş enerjisi santralleri kurulumu için düşük potansiyele sahip alanları ifade ederken, sarı, turuncu ve kırmızı renkle belirtilen bölgeler ise güneş enerjisi santrali kurulumu için yüksek potansiyele sahip alanları göstermektedir.

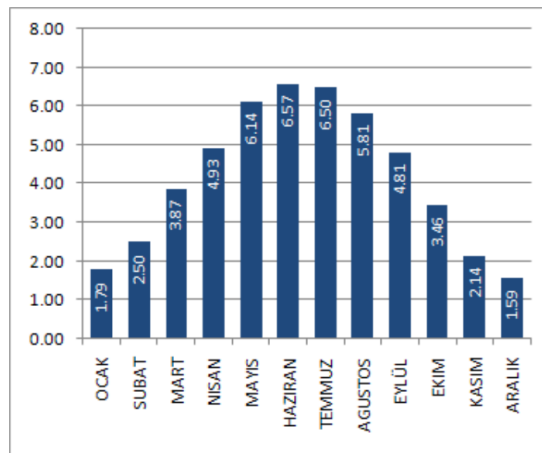
Güneydoğu Anadolu Bölgesi, yıllık 2993 saat güneşlenme süresi ve 1460 kWh/m² yıllık güneş ışınım değeri ile en yüksek potansiyele sahipken Akdeniz Bölgesi, yıllık 2956 saat

güneşlenme süresi ve 1390 kWh/m² güneş ışınım değeri ile ikinci sırada yer almaktadır (URL-2). Güneyden kuzeye doğru gidildikçe, güneşlenme süresi ve güneş ışınım değerleri azalmaktadır. Bu nedenle en düşük potansiyele sahip olan bölgemiz, yıllık 1971 saat güneşlenme süresi ve 1120 kWh/m² güneş ışınım değeri ile Karadeniz Bölgesi'dir (URL-2). Diğer bölgelerin yıllık güneşlenme süresi ve toplam ışınım değeri ise şu şekildedir: Doğu Anadolu Bölgesi, 2664 saat ve 1365 kWh/m², İç Anadolu Bölgesi 2628 saat ve 1314 kWh/m², Ege Bölgesi 2738 saat ve 1304 kWh/m², Marmara Bölgesi 2409 saat ve 1168 kWh/m²'dir (URL-2).

Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'ndan alınan veriler kullanılarak, Şekil 2.2'de Türkiye'nin saatlik bazda aylık ortalama güneşlenme süreleri, Şekil 2.3'de ise Türkiye'nin aylara göre ortalama küresel radyasyon değerleri (kWh) gösterilmektedir.



Şekil 2. 2.Türkiye'nin aylık ortalama güneşlenme süreleri



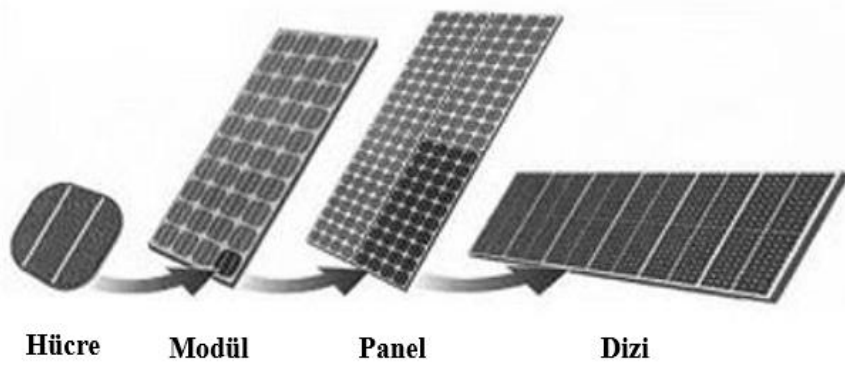
Şekil 2. 3.Türkiye'nin aylık ortalama küresel radyasyon değerleri

3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Güneş enerjisini elektriğe dönüştürmek amacıyla fotovoltaik hücreler veya güneş pilleri adı verilen yapılar kullanılmaktadır. Bu hücreler, fotovoltaik etkiyi kullanarak çalışırlar; yani, güneş ışığı fotovoltaik hücrelere çarptığında, malzemenin yapısındaki elektronlar hareket kazanır. Bu hareket sonucunda akım ve gerilim üretilir. Bu temel prensip, fotovoltaik teknolojinin temelini oluşturur ve güneş enerjisini elektriğe dönüştürmede yaygın olarak kullanılır.

Birçok güneş hücresi, diğer bir adıyla fotovoltaik hücre, paralel veya seri bağlantılarla istenilen güç seviyelerini elde etmek amacıyla bir araya getirilerek güneş modüllerini oluşturur. Bu modüller, bir araya gelerek güneş panellerini, güneş panelleri de birbirine bağlanarak büyük ölçekli elektrik üretimi için fotovoltaik diziler oluşturur. Bu sayede birkaç watt'lık küçük enerji üretim sistemlerinden devasa enerji santrallerine kadar geniş bir yelpazede sistemler oluşturmak mümkündür (Yılmaz,2013).

Fotovoltaik hücreden fotovoltaik dizilere kadar olan yapıların gösterimi Şekil 3.1'de sunulmuştur.



Şekil 3. 1.PV hücre, modül, panel, dizi gösterimi

Güneş panellerinin yapısını oluşturan fotovoltaik hücreler genellikle silikon veya diğer yarı iletken malzemelerden yapılmış plakalardan meydana gelir. Bu plakalar, P-N birleşimini içerir. Fotovoltaik hücre; P-N katmanları arasında bir yük bulunduğunda, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek elektrik üretir. Ancak herhangi bir yük veya P-N katmanları arasında bir bağlantı yoksa elektron akışı gerçekleşmez ve dolayısıyla elektrik üretilemez (Karamanav,2007).

Güneş ışınları, yarıiletken malzeme üzerine düştüğünde, özellikle silisyum gibi yarıiletken malzemelerde, fotonlar son yörüngedeki valans elektronlarını uyarır. Bu uyarılan elektronlar serbest bırakılır ve belirli bir yönde hareket eder. PV hücrenin P katmanı pozitif yüklüdür, N katmanı negatif yüklüdür yani serbest kalan elektronlar negatif katmandan dış devreye ve pozitif katmana doğru hareket eder (Ural,2007). Oluşan bu elektron akışı, fotovoltaik hücrede bir elektrik akımı oluşturur. Elde edilen elektrik akımı, fotovoltaik hücrenin çıkışında bir elektrik potansiyeli yaratır, böylece güneş enerjisi elektrik enerjisine dönüşmüş olur.

Güneşlenme miktarı; dünyanın coğrafi konumu, günün saati, mevsimler, güneş ışınlarının geliş açısı, bulut örtüsü ve diğer çevresel faktörlere bağlı olarak değişim gösterir. Güneş panelleri tasarımı sürecinde; güneşlenme miktarındaki değişimler, bulut örtüsü, sıcaklık değişimleri ve diğer çevresel faktörler titizlikle değerlendirilir. Bu faktörler, üretilen elektrik gücünü doğrudan etkileyerek, güneş enerjisi sistemlerinin performansını belirler. Ayrıca güneş panellerinin yapısal özellikleri ve şekilleri de üretilen güç değerini etkileyen kritik öneme sahiptir.

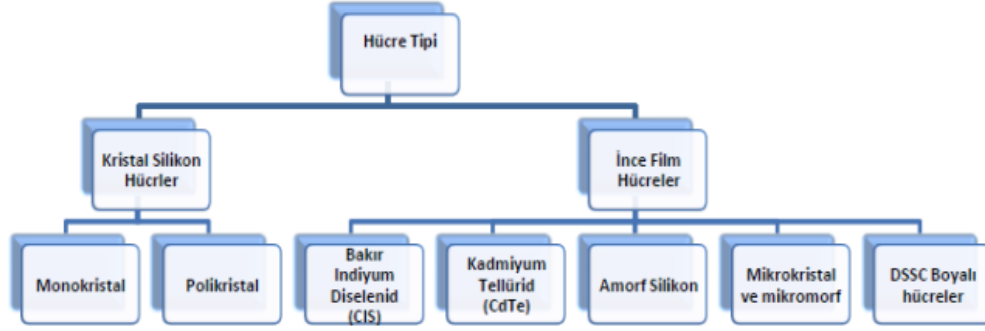
3.1. Fotovoltaik Hücre Çeşitleri

Fotovoltaik hücreler, temel olarak kristal silikon (c-Si) hücreleri ve ince film hücreleri olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır.

Fotovoltaik hücrelerin üretimi için çeşitli malzemeler ve yöntemler kullanılır. Tek kristal veya çoklu kristalize silikon, tek eklem veya çok eklem gibi farklı seçenekler bulunmaktadır. Şu anda en yaygın olarak tek kristalli silikon hücreleri kullanılmaktadır, ancak bu hücrelerin tabakalarının maliyeti yüksektir (Jackson,2008). Çok kristalli hücreler tek kristal hücreler kadar verimli olmasa da üretimleri daha kolay ve maliyetleri daha düşüktür. Kristalize silikon sistemleri yüksek verimlilik sunar ancak rijit yapıları mimari uygulamalarda zorluklara neden olabilir. İnce film fotovoltaik sistemleri, farklı malzemelere uygulanabilme ve çeşitli ışık transmisyonlarına izin verme avantajına sahiptir. Çok eklemli fotovoltaik hücreler, yarı iletken malzeme tabakalarını kullanarak iki veya daha fazla eklem oluşturur ve güneş spektrumundan farklı dalga boylarını absorbe ederek yüksek verim sağlar (Nelson,2003).

Güneş pilleri için sınıflandırma genellikle uygulama alanları, malzeme ve işlem biçimi, katman biçimi, optik karakteristikler ve biçim-hacim gibi faktörlere dayanır.

Şekil 3.2'de, fotovoltaik hücre türlerinin detaylı sınıflandırılması gösterilmektedir (Girgin,2011).



Şekil 3. 2.Fotovoltaik hücre çeşitleri

3.1.1. Kristal Silikon Hücreler

Kristal silikon hücrelerin ana hammaddesi silisyumdur ve bu element, yeryüzünde oksijenden sonra en yaygın bulunan elementtir. Silisyum elementinin dayanıklı kristal yapısı ile üstün kimyasal ve mekanik özellikleri, bu yarı iletken elementi, güneş paneli teknolojilerinde vazgeçilmez bir hammadde haline getirmiştir. Ancak, silisyum elementinin güneş panellerinde kullanılabilir hale gelmesi için çeşitli işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Silisyum, doğada saf kimyasal formda bulunmadığı için öncelikle yüksek sıcaklık gerektiren ısıl işlemlerle silisyum dioksit (kuvars) bileşiğinden ayrılmalıdır. Ardından elektronik uygulamalar için gereken saflığa ulaşabilmesi için metalürjik silisyumun saflığı artırılmaktadır. Elde edilen yüksek kaliteli ve saf silisyum nihayetinde güneş panellerinin üretiminde kullanılmaktadır (Kantaroglu,2010).

Silisyumun güneş enerjisi sistemlerinde yaygın biçimde kullanılmasının sebepleri; silisyumun elektriksel, optik ve yapısal özelliklerinin uzun süre değişmemesi, aynı zamanda silisyum üretim teknolojisinde sağlanan başarılarla ilişkilidir (Ayran,2019). Kristal silikon güneş panellerinin yüksek verimlilik oranları ve uzun ömürlülükleri bu hücre çeşidinin kullanım alanlarını büyük ölçüde artırarak güneş enerjisi uygulamalarında

en çok tercih edilen hücreler haline getirmiştir. Kristal silikon hücrelerin, monokristal ve polikristal olmak üzere 2 çeşidi vardır.

Şekil 3.3'te ise sırasıyla bitmiş halde polikristal ve monokristal güneş panelleri görülmektedir [URL-5].



Şekil 3. 3.Polikristal ve monokristal güneş paneli

3.1.1.1. Monokristal Silikon Hücreleri

Monokristal silikon hücreler, güneş paneli üretim teknikleri arasında en eski ve pahalı olanlarından biridir, ancak aynı zamanda halen en yüksek verimlilik değerine sahip hücrelerden biri olarak kabul edilmektedir. Monokristal güneş panellerinin, tek bir silisyum kristalinden yapıldıkları için homojen bir yapıya sahiptirler (Şafak,2023). Piyasada bulunan monokristal hücrelerin verimlilik değerleri genellikle %15 ile %18 arasında değişmektedir (Venkateswari ve Sreejith 2019). Ancak, son yıllarda ticarileşmiş ve kullanılmaya başlanmış olan monokristal hücrelerin bazıları %20 ile %22 arasında daha yüksek verimlilik değerlerine sahiptir (Girgin,2011). Üretim sürecinde tek ve saf silikon kristali kullanılarak elde edilen düzenli yapısı, yüksek verimlilik seviyelerini mümkün kılar (Şafak,2023). Yüksek verimlilik ve dayanıklılığı sayesinde, diğer hücrelerle kıyaslandığında uzun süreli kullanımlar için tercih edilmektedir (Bagher ve diğ. 2015). Ortalama bir silisyum güneş paneli, genellikle 0,5 volt civarında bir gerilim üretir. Hücrelerin sayısına bağlı olarak üretilecek gerilim değerini arttırmak mümkündür.

Kullanım alanlarına ve hücre verimliliğine göre monokristal güneş panellerinin boyutları ve şekilleri değişiklik göstermektedir.

Genellikle 4 inç, 5 inç ve 6 inç gibi çeşitli boyutlarda ve dairesel, kare, yarı köşeli gibi farklı şekillerde üretilmektedir (Girgin,2011). Bu şekiller, hücrelerin yerleştirilme ve bağlantı düzeneklerine göre optimize edilirken hücrelerin boyut ve şekilleri, panellerin genel performansını ve alan kullanımını doğrudan etkileyen önemli bir faktördür.

3.1.1.2. Polikristal Silikon Hücreleri

Polikristal hücreler çok kristalli yapıya sahiptir ve bu yapılar ışığın yansıması sonucu kristal kırılmalar oluşturur. Bu kırılmalar, ışığın hücre yüzeyinde düzensiz bir şekilde dağılmasına yol açar. Bu durum güneş panelinin ışığı absorbe etme ve elektrik enerjisine dönüştürme verimliliğini azaltır. Polikristal hücreler bu kırılmalar nedeniyle monokristal hücrelere kıyasla, daha düşük verimlilik oranlarına sahiptir.

Polikristal güneş panelleri birkaç silikon kristal çubuğunun eritilip bir kalıba dökülmesi yöntemiyle oluşturulmaktadır. Bu üretim metodu, monokristal hücrelerdeki silikon kristalleriyle karşılaştırıldığında, içerdikleri silikon kristallerinin daha düşük saflık seviyelerine sahip olmasına neden olur (Sugianto,2020).

Polikristal hücrelerde, verimlilik genellikle %14 ile %17 arasında değişmektedir. Ancak, üretim metodu monokristal hücrelerde olduğu kadar hassasiyet gerektirmediği için, polikristal hücrelerin üretim maliyetlerinin daha düşük olduğu bilinmektedir (Sayın ve Koç,2011).

3.1.2. İnce Film Güneş Panelleri

1970'lerde amorf silikon (a-Si) kullanımıyla başlatılan araştırmalar sonucu ortaya çıkan ince film güneş panelleri, geleneksel panellere alternatif olarak geliştirilmiştir. Amorf silikon, kristal silikonun aksine düzensiz yapıdadır ve bu sayede daha ince ve esnek güneş panellerinin üretimine olanak tanır (Müller ve diğ.2018). 1980'lerde kadmiyum tellürid (CdTe) ve bakır indiyum galyum selenid (CIGS) gibi malzemeler üzerinde yapılan çalışmalarla, ince film güneş panelleri teknolojik çeşitlilik kazanmıştır (Venkateswari ve Sreejith 2019). Bu dönemde geliştirilen yeni malzemeler, fotovoltajik hücrelerin verimliliğini ve dayanıklılığını artırarak daha geniş bir uygulama yelpazesine hitap etmelerini sağlamıştır.

Üretim maliyetlerinin geleneksel kristal güneş panellerine göre daha düşük olmasıyla 1990'larda ticarileşmeye başlamış, 2000'li yıllarda performans ve verimliliklerinde önemli gelişmeler sağlanmıştır (Müller ve diğ.2018).

İnce film hücreleri, geleneksel silikon hücrelere göre daha hafif yapıda olduklarından dolayı özellikle taşınabilir ve esnek uygulamalarda kullanımı oldukça fazladır. İnce yapısı sayesinde kurulumu kolay olmakla birlikte, aynı zamanda esnek yüzeylere uygulanabilirlik sağlamaktadır (Ahmad ve diğ.2020).

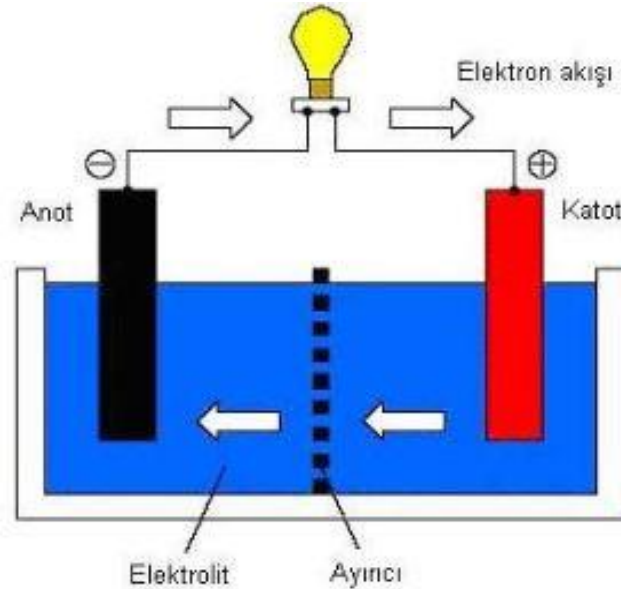
İnce film güneş panellerinin verimliliği kristal silikon güneş panellerine göre daha düşüktür ancak üretim maliyetleri daha ekonomik düzeydedir. Değişken boyutlarda tasarım olanağı sağlamakla birlikte, ince film paneller istenen bir biçimde farklı malzeme üzerine ve geniş yüzeylere kaplanabilirler.

Silikon yarı iletken malzemelerin sıcaklıkla ilişkili verim kaybı, ince film güneş panellerinde nispeten daha düşüktür. Bu açıdan bakıldığında, ince film güneş panelleri, yıl boyunca sıcaklık ortalamalarının yüksek olduğu coğrafyalarda tercih edilen bir seçenek haline gelmektedir.

4. BATARYALAR

Bataryalar, elektrokimyasal redoks tepkimeleri yoluyla depoladıkları kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır (Chan,2007). Elektrik enerjisini kimyasal enerji olarak depolayan bataryalar, enerji talebi olduğunda bu depolanan kimyasal enerjiyi tekrar elektrik enerjisine çevirirler. Elektrokimyasal redoks tepkimesi, bir kimyasal reaksiyon sırasında elektron transferini içeren bir süreçtir. Bu tepkimede, bir elektrotta oksidasyon (elektron kaybı) gerçekleşirken, diğer elektrotta indirgenme (elektron kazanımı) meydana gelir. Bu süreç, bataryaların temel çalışma mekanizmasını oluşturur ve enerji depolama ile dönüşüm sistemlerinde kilit bir rol oynar (Bora,2017). Batarya sistemi, istenilen çıkış gerilimini ve kapasiteyi sağlamak amacıyla seri, paralel veya her iki bağlantı türünü içeren bir ya da daha fazla hücreden oluşur. Her hücre, dört temel bileşenden meydana gelir: anot (negatif elektrot), katot (pozitif elektrot), elektrolit (elektrik iletimini sağlayan ortam) ve ayırıcı.

Şekil 4.1'de batarya hücresinin yapısı gösterilmektedir (Gandy,2000). Bir batarya, hücrelerin birleşmesiyle oluşan modüllerden ve bu modüllerin bir araya gelmesiyle meydana gelen daha büyük bir yapıdan oluşur. Bataryalar, temel olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır (Scrosati ve Garche, 2010).



Şekil 4. 1.Bataryanın şematik gösterimi

4.1. Birincil (Tek Kullanımlık) Bataryalar

Birincil bataryalar, enerji tükendiğinde tekrar şarj edilemeyen ve kullanım ömrü sona erdiğinde atılan bataryalardır. Tek kullanımlık olduklarından dolayı, genellikle düşük enerji tüketimi ve uzun raf ömrü gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir (Linden ve Reddy, 2002). Birincil bataryaların çinko-karbon, alkalın ve lityum bataryalar olmak üzere 3 ana türü bulunmaktadır (Scrosati ve Garche, 2010).

Çinko-karbon bataryalar, düşük maliyetleri ve kolay temin edilebilirlikleri nedeniyle geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu bataryalar, düşük enerji yoğunluğuna sahip olmalarına rağmen ekonomik bir seçenek sunmaktadır. Çinko-karbon bataryalar, el fenerleri, uzaktan kumandalar ve oyuncaklar gibi düşük enerji tüketimi gerektiren cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Muratoğlu ve Akkaya, 2015).

Alkalın bataryalar, çinko-karbon bataryalara kıyasla daha yüksek enerji yoğunluğu ve uzun raf ömrü sunmaktadır. Bu bataryalar, kararlı kimyasal yapıları sayesinde geniş bir sıcaklık aralığında etkili bir şekilde çalışabilmektedir (Linden ve Reddy, 2002). Alkalın bataryalar, saatler, taşınabilir radyolar, dijital kameralar, el fenerleri ve uzaktan kumandalar gibi günlük cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Lityum birincil bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu, uzun raf ömrü ve geniş bir sıcaklık aralığında çalışabilme özellikleriyle öne çıkmaktadır. Bu bataryalar, düşük deşarj oranı ve hafiflik avantajı sunmaktadır. Lityum birincil bataryalar, yüksek güvenilirlik ve uzun ömür gerektiren duman dedektörleri, kalp pilleri, dijital kameralar, saatler ve askeri ekipmanlar gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Tuğru,2009).

4.2. İkincil Bataryalar

İkincil bataryalar, şarj edilebilme özellikleri sayesinde birden fazla kez kullanılabilen enerji depolama cihazlarıdır. Bu bataryalar, kullanım ömürleri boyunca defalarca şarj edilip deşarj edilebilir, bu da onları uzun vadede ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir seçenek haline getirir. Aynı zamanda bu tür bataryalar, akümülatör ve depolama bataryaları olarak da adlandırılır. İkincil bataryalar, nikel-kadmiyum (Ni-Cd), nikel-metal hidrit (Ni-MH), kurşun-asit, lityum-iyon (Li-ion) ve lityum-iyon polimer (LiPO) gibi çeşitli kategorilere ayrılmaktadır (Chang,2013).

4.2.1. Kurşun-Asit Batarya Teknolojisi

Kurşun-asit batarya teknolojisi, geniş kullanım alanına sahip eski ve yaygın bir enerji depolama teknolojisidir. Bu bataryalar, yüksek deşarj akımı, hafıza etkisinin olmaması ve düşük maliyet gibi önemli avantajları nedeniyle tercih edilir (Karadağ ve diğ. 2021). Ancak, kurşun-asit bataryaların nominal gerilimi diğer batarya türlerine kıyasla daha düşüktür; her bir hücre yalnızca 2 V çıkış gerilimine sahiptir (Hadjipaschalis ve diğ. 2009). Bu durum, lityum iyon bataryaların hücre başına daha yüksek gerilim seviyelerine ulaşabilmesi ile kıyaslandığında yetersiz kalır ve aynı çıkış gerilimine ulaşmak için daha fazla sayıda hücre kullanımını gerektirir. Enerji yoğunluğu açısından bakıldığında, kurşun-asit bataryalar diğer batarya tiplerine göre daha düşük enerji depolama kapasitesine sahiptir. Bu durum, sınırlı enerji depolama kapasitesi nedeniyle daha kısıtlı menzil ve performans anlamına gelir. Ayrıca, kullanılmadıkları zaman boyunca bataryaların ömrü azalabilmektedir (Yong ve diğ, 2015).

4.2.2. Nikel kadmiyum Batarya Teknolojisi

Nikel kadmiyum bataryalar, uzun süreli raf ömrüne sahip olmaları ve ekonomik bir batarya çeşidi olmaları nedeniyle öne çıkar (Tuğru,2009). Ni-Cd bataryalar, kurşun-asit bataryalara kıyasla daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip olsalar da diğer batarya teknolojilerine göre daha düşük enerji yoğunluğuna sahiptirler.

Ni-Cd bataryalarda hafıza etkisinin bulunması, bu teknolojinin en büyük dezavantajlarından biri olarak kabul edilir. Hafıza etkisi, bataryanın tam kapasitesine kadar deşarj edilmeden tekrar şarj edilmesi durumunda ortaya çıkar. Bu durumda batarya, kısmi deşarj seviyesini "hatırlar" ve tam şarj edildiğinde bu seviyeye geri döner. Bu, bataryanın gerçek kapasitesinin altında performans sergilemesine neden olur (Karadağ,2021). Ayrıca, Ni-Cd bataryalar kendiliğinden hızlı bir şekilde şarj kaybederler, bu da elektrikli araçlarda kullanımlarını zorlaştırır (Yong ve diğ, 2015).

4.2.3. Nikel Metal Hidrit Batarya Teknolojisi

Nikel-metal hidrit (Ni-MH) bataryalar, Ni-Cd bataryaların dezavantajlarına bir alternatif olarak geliştirilmiştir. Bu teknolojiye, kadmiyum elektrot yerine metal hidrat kullanılmıştır.

Ni-MH bataryalar, kurşun-asit ve Ni-Cd bataryalara kıyasla; kurşun, cıva, kadmiyum gibi zararlı maddeler içermemeleri nedeniyle çevreye daha az zarar verir (Çetin ve diğ,2021). Ayrıca, maliyet açısından lityum iyon (Li-ion) bataryalara kıyasla daha uygun bir seçenektir (Yu ve diğ, 2011). Ancak, lityum-iyon bataryalar ile karşılaştırıldığında enerji yoğunluğu ve güç yoğunluğu bakımından daha düşük performans gösterir.

4.2.4. Lityum İyon Polimer Batarya Teknolojisi

Lityum-iyon polimer (LiPo) bataryalar, esnek bir plastik tabaka içinde yer alan elektrolit ve katot malzemeleri arasında bulunan bir polimer elektrolit içerir. Bu tasarım, bataryaların daha esnek ve ince olmasını sağlamakta ve çeşitli uygulamalarda kullanılmasını mümkün kılmaktadır (Muratoğlu, 2015). LiPo bataryalar, Ni-Cd ve Ni-MH bataryalarla kıyaslandığında, daha yüksek enerji yoğunluğuna ve daha uzun kullanım ömrüne sahiptirler. Bu özellikler, LiPo bataryaların belirli uygulamalarda daha uygun bir seçenek olmasını sağlamaktadır (Iqbal ve diğ, 2023).

4.2.5. Lityum İyon Batarya Teknolojisi

Lityum-iyon (Li-ion) bataryalar, günümüzde geniş bir kullanım yelpazesine sahip olup, özellikle elektrikli araçlar ve taşınabilir elektronik cihazlar gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bataryalar, birim hücre başına yüksek çıkış gerilimine sahiptir, bu da daha az sayıda hücre ile aynı voltajı elde etmeyi mümkün kılar (Nitta ve diğ,2015).

Li-ion bataryaların yüksek enerji yoğunluğu, aynı miktarda enerji depolayabilen daha kompakt ve hafif bataryaların tasarlanmasına olanak tanır (Scrosati ve Garche, 2010). Bu özellik, taşınabilir elektronik cihazlar ve elektrikli araçlar gibi uygulamalarda önemli bir avantaj sağlar. Ayrıca Li-ion bataryalar, düşük kendi kendine deşarj oranına sahiptir (Çetin ve diğ,2021). Bu durum, bataryaların uzun süre kullanılmadığında bile büyük ölçüde şarjını koruyabilmesi anlamına gelir. Düşük kendi kendine deşarj oranı, uzun süreli depolama veya seyrek kullanım durumlarında bataryanın performansını korumasını sağlar.

Lityum-iyon (Li-ion) bataryalar, kullanılan katot ve anot malzemeleri, elektrolit türü, hücre yapısı ve diğer özelliklerine bağlı olarak çeşitli türlere ayrılmaktadır.

Farklı anot ve katot malzemelerinin kombinasyonları ile oluşturulan bu batarya türlerinin her biri, güvenlik, performans, maliyet ve diğer parametreler açısından kendine özgü avantajlar ve dezavantajlar sunar (Sayın,2011).

Lityum tabanlı oksitler arasında yaygın olarak kullanılan batarya türleri şunlardır:

- Lityum Kobalt Oksit (LiCoO_2) — LCO
- Lityum Manganez Oksit (LiMn_2O_4) — LMO
- Lityum Demir Fosfat (LiFePO_4) — LFP
- Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit (LiNiCoAlO_2) — NCA
- Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit (LiNiMnCoO_2) — NMC
- Lityum Titanat (Li_2TiO_3) — LTO

4.2.5.1. Lityum-Kobalt Oksit (LCO, LiCoO_2) Bataryalar

Lityum kobalt oksit bataryalar, ağırlıksal enerji yoğunluğu açısından yüksek performans gösterirler, bu da onları özellikle taşınabilir cihazlar için uygun hale getirir (Nitta ve diğ.,2015). Ancak, bu bataryaların güç yoğunluğu, yani birim zamanda sağlanabilen enerji miktarı, diğer bazı lityum-iyon batarya türlerine kıyasla daha düşüktür (Scrosati ve Garche, 2010).

Kobalt elementinin sınırlı bulunabilirliği ve yüksek maliyeti nedeniyle, LCO bataryalar büyük ölçekli uygulamalarda, özellikle elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılmaz (Wang ve Huang, 2011). Bunun yerine, LCO bataryalar genellikle cep telefonları, kameralar ve dizüstü bilgisayarlar gibi taşınabilir cihazlarda uzun çalışma süresi sağlamak amacıyla tercih edilmektedir (Van den Bossche ve diğ., 2006).

4.2.5.2. Lityum Manganez Oksit (LMO, LiMn_2O_4) Bataryalar

Lityum-manganez-oksit bataryalar, termal stabilite açısından son derece dayanıklıdır ve 250°C 'ye kadar olan sıcaklıklara karşı direnç gösterirler (Wang ve Huang, 2011). Bu üstün termal stabilite, bataryaların düşük iç dirence sahip olmasını sağlar ve aynı zamanda yüksek akım deşarj yeteneğine sahip olmalarını mümkün kılar. Bu özellikler, LMO bataryaların enerjiiyi hızlı bir şekilde sağlamasına ve özellikle elektrikli araçlarda yüksek performans sergilemesine imkân tanır (Vidyanandan, 2019).

LMO bataryalar, ısıl dayanıklılıkları ve yüksek akım deşarj kapasiteleri sayesinde öne çıkar. Ancak, bu bataryalar, genellikle elektrikli araçlarda kullanılmak üzere tasarlanan bir diğer lityum-iyon batarya türü olan NMC bataryalarla (Lityum-Nikel-Manganez-Kobalt Oksit) karıştırılarak kullanılabilir (Karadağ ve diğ, 2021). Bu kombinasyon, LMO' nun termal dayanıklılığı ve yüksek akım kapasitesi ile NMC' nin enerji yoğunluğunu birleştirerek daha dengeli ve performanslı bir batarya çözümü sunar.

4.2.5.3. Lityum-Demir-Fosfat (LFP, LiFePO₄) Bataryalar

Lityum-demir-fosfat (LFP) bataryalar, katot malzemesi olarak fosfatları kullanır, bu da onları lityum kobalt oksit (LCO) veya lityum mangan oksit (LMO) gibi diğer katot malzemelerine sahip bataryalardan daha güvenilir kılar (Sun ve diğ, 2020). Fosfatların kimyasal yapısı, bataryaların aşırı şarj veya kısa devre durumlarında son derece kararlı kalmasını sağlar ve yüksek sıcaklıklara karşı direnç gösterir. Bu özellikler, LFP bataryalarının daha güvenli ve dayanıklı bir enerji depolama çözümü sunmasına olanak tanır (Scrosati ve Garche, 2010). Yüksek güvenlik ve dayanıklılığa rağmen, LFP bataryaların enerji depolama kapasitesi LCO bataryalara kıyasla daha düşüktür. Bu durum, aynı miktarda enerji depolayabilmek için LFP bataryaların daha büyük boyutlarda veya daha fazla sayıda kullanılması gerektiği anlamına gelir (Nitta ve diğ, 2015).

4.2.5.4. Lityum-Nikel-Kobalt Alüminyum (NCA, LiNiCoAlO₂) Bataryalar

Lityum Nikel Kobalt Alüminyum Oksit bataryalar, yüksek voltajda çalışabilme kapasitesine sahip olup, çevrim ömrü ve güç kapasitesi açısından LCO bataryalara alternatif olarak kullanılabilir (Nitta ve diğ, 2015). Bu özellikler, NCA bataryalarını enerji depolama sistemlerinde ve elektrikli araç uygulamalarında kullanımı için avantajlı kılar. Ayrıca, NCA bataryalar, güvenlik açısından LCO tabanlı bataryalara kıyasla daha üstün performans gösterir (Wen ve diğ, 2020).

NCA bataryalar, güç yoğunluğu, enerji yoğunluğu ve kullanım ömrü açısından yüksek performans sergiler. Bu özellikler, onları elektrikli araçlar gibi yüksek enerji gereksinimi olan uygulamalarda ideal kılar. Özellikle Tesla araçlarında yaygın olarak kullanılan NCA teknolojisi, gelecekte daha geniş bir kullanım alanı bulması beklenen bir batarya teknolojisidir (Dinger ve diğ, 2010).

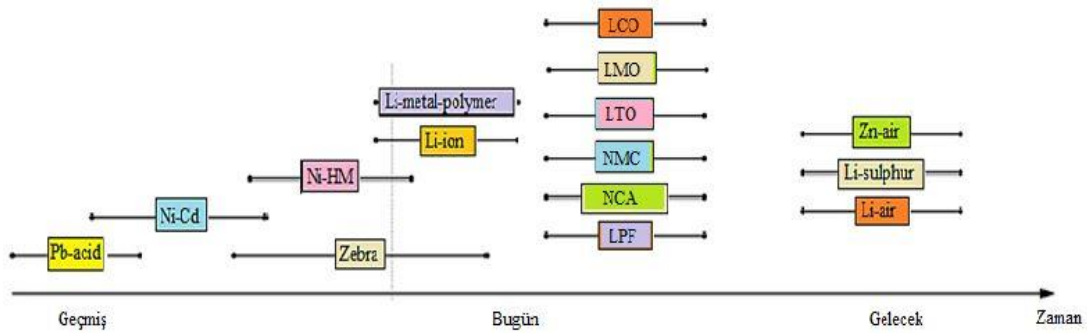
Bununla birlikte, NCA bataryaların dezavantajları arasında yüksek maliyet ve kobalt gibi nadir ve pahalı malzemelerin kullanımı yer almaktadır (Fergus, 2010). Üretim maliyetlerinin yüksek olması ve kullanılan hammaddelerin nadirliği, bu bataryaların geniş ölçekli üretimini ve kullanımını sınırlandırabilir.

4.2.5.5. Lityum Nikel Manganez Kobalt Oksit (NMC, LiNiMnCoO_2) Bataryalar

Lityum-Nikel-Manganez-Kobalt tabanlı bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu ve yüksek voltajlarda etkili bir şekilde çalışma yeteneği ile bilinir. Bu bataryalar, üç temel elementin nikel, manganez ve kobalt dengeli bir kombinasyonunu içerir. Nikel, bataryalara yüksek enerji yoğunluğu sağlarken, manganez termal stabiliteyi artırır ve kobalt ise genel performansı yükseltir (Nitta, 2015). Bu kombinasyon, NMC bataryaların enerji yoğunluğu, güvenlik, dayanıklılık ve performans açısından üstün özellikler sunmasını sağlar (Fergus,2010). İçeriğinde kobalt elementinin olması nedeniyle diğer bazı lityum-iyon batarya türlerine kıyasla daha yüksek maliyetlidir. Kobaltın sınırlı bulunabilirliği ve yüksek maliyeti, bu bataryaların üretim maliyetlerini arttırmaktadır.

4.2.5.6. Lityum-Titanyum-Oksit (LTO, Li_2TiO_3) Bataryalar

Lityum titanat oksit bataryalar, yüksek güç yoğunluğu, uzun döngü ömrü ve kararlılığı ile bilinir (Moral ve Erol, 2020). LTO tabanlı bataryalar, geniş bir sıcaklık aralığında etkili bir şekilde çalışabilme yeteneğine sahiptir. Bu bataryalar, hızlı şarj ve deşarj kapasiteleriyle dikkat çeker. Şarj ve deşarj işlemleri sırasında diğer batarya türlerine göre daha az ısı üretmeleri, soğutma gereksinimlerini azaltır ve güvenli bir kullanım sağlar (Bruce ve diğ, 2008). LTO bataryalar, hızlı şarj olma yetenekleri sayesinde elektrikli araçlarda kullanılmaktadır.



Şekil 4. 2. Elektrikli araçlar için batarya teknolojisinin evrimi

Geçmişten günümüze ve geleceğe uzanan elektrikli araç batarya teknolojilerinin evrimi, Şekil 4.2'de sunulmaktadır. Bu zaman çizelgesinde, günümüz elektrikli araçlarında yaygın olarak lityum-iyon batarya teknolojisinin kullanıldığı açıkça görülmektedir. Gelecekte ise, daha gelişmiş ve verimli batarya teknolojilerinin bu alanda ön plana çıkması beklenmektedir.

2020-2024 yılları arasında üretilen elektrikli araçlarda kullanılan lityum iyon batarya türleri ve bunların kapasite verileri Tablo 4.1'de gösterilmektedir.

Tablo 4.1.Lityum iyon batarya kullanan elektrikli araçlar

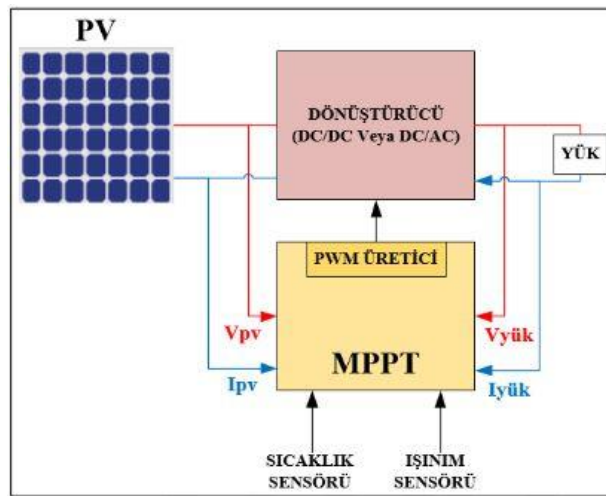
MODEL	YIL	BATARYA TÜRÜ	BATARYA KİMYASI	BATARYA KAPASİTESİ (kWh)
VOLVO EX40	2024	Lityum-iyon	NMC	70
CİTROEN E-C3	2024	Lityum-iyon	LFP	44
XİAOMİ SU7	2024	Lityum-iyon	LFP	73,6
XİAOMİ SU7 MAX	2024	Lityum-iyon	NMC	101
Hyundai IONIQ 5 N	2023	Lityum-iyon	NMC	84
FİAT 500e	2023	Lityum-iyon	NMC	42
RENAULT SCENİC E-TECH EV87	2023	Lityum-iyon	NMC	92
TESLA MODEL Y	2022-2023	Lityum-iyon	LFP	60
BYD ATTO 3	2022	Lityum-iyon	LFP	62
TOGG T10X V1 (2022)	2022	Lityum-iyon	NMC	52,4
TOGG T10X V2 Long Range	2022	Lityum-iyon	NMC	88,5
TESLA MODEL 3	2021	Lityum-iyon	LFP	60
CHEVROLET BOLT	2019-2021	Lityum-iyon	NMC	66
AUDİ E-TRON	2021	Lityum-iyon	NMC	95
HYUNDAİ KONA	2021	Lityum-iyon	NMC	64
FORD MUSTANG MACH-E	2021	Lityum-iyon	NMC	98
TESLA MODEL 3	2020	Lityum-iyon	NCA	78
NİSSAN LEAF	2020	Lityum-iyon	NMC	62
BMW İ3	2020	Lityum-iyon	NMC	42

5. MPPT TABANLI ŞARJ KONTROL CİHAZI

MPPT şarj kontrol cihazı, güneş panellerinden gelen enerjiyi ve bataryanın mevcut şarj durumunu temel alarak çalışmaktadır. Bu cihazlar, güneş panellerinden elde edilen enerjiyi sürekli olarak izleyip değerlendirir ve bataryanın şarj seviyesine göre gerilimi ve şarj akımını düzenler. MPPT tekniği ile maksimum güç noktası izleme sistemine ait temel blok şeması, Şekil 5.1'de sunulmaktadır (Karami ve diğ. 2017).

MPPT şarj kontrol cihazları, bataryaların aşırı şarj olmasını veya tamamen deşarj edilmesini engelleyerek, sistemin güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. Bu cihazlar, güneş panelleri tarafından üretilen enerji kapasitesine, kullanılan batarya tipine ve diğer özel gereksinimlere uygun olarak seçilmelidir. Bu nedenle, doğru bir şarj kontrol cihazı seçimi, sistemin etkinliği ve güvenilirliği açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, MPPT (Maximum Power Point Tracking-Maksimum Güç Noktası Takibi) şarj kontrol cihazları, maksimum enerji verimliliği sağlamak için tercih edilmektedir.

MPPT şarj kontrol cihazları, güneş panellerinin en verimli şekilde çalışmasını sağlayan ileri teknoloji cihazlardır. Geleneksel Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) kontrol cihazlarının aksine, MPPT kontrol cihazları güneş panellerinin elektriksel çalışma noktasını sürekli olarak ayarlayarak maksimum güç elde edilmesini sağlar. Bu özellik, değişken hava koşullarında ve kısmi gölgelenme durumlarında önem arz etmektedir (URL-4).



Şekil 5. 1.Güneş enerjisi şarj sisteminin blok diyagramı

Güneş panellerinin verimi, üzerlerine düşen güneş ışığının yoğunluğuna, ortam sıcaklığına ve diğer çevresel faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Fotovoltaik panellerin ürettiği elektriğin akım değeri, güneş ışınlarının yoğunluğuna ve şiddetine bağlı olarak değişkenlik gösterirken, panelin ürettiği gerilim değeri ise ortam sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik gösterir (Shaw,2020). Bununla birlikte FV panellerin akım-gerilim karakteristiklerinin doğrusal olmaması, enerji üretiminde verimliliği düşürebilir. Bu olumsuz etkiyi en aza indirmek amacıyla genellikle MGNİ (Maximum Power Point Tracking- Maksimum Güç Noktası İzleme) tekniği kullanılır.

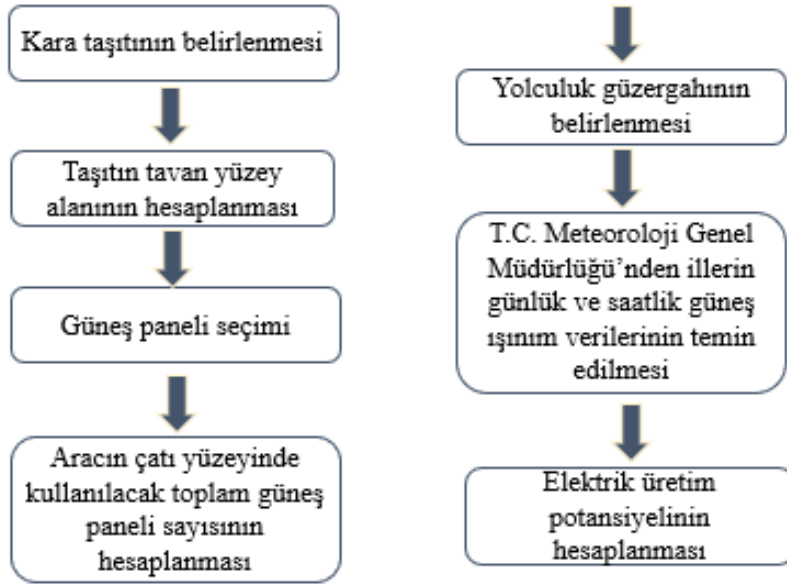
MGNİ, güneş panellerinin üretebileceği maksimum gücü elde etmek amacıyla kullanılan bir tekniktir. MGNİ teknolojisi, değişken koşullar altında panellerin en yüksek güç çıkışını sağlayacak en uygun çalışma noktasını belirler ve bu noktada çalışmasını sağlar. Bu sayede, güneş enerjisi sisteminin genel verimliliği artırılır ve enerji kaybı minimize edilir. MGNİ teknolojisi, özellikle MPPT şarj kontrol cihazlarında kullanılır. Bu cihazlar, güneş panellerinden gelen yüksek voltajlı DC gücü, bataryaların gerektirdiği daha düşük voltajlı DC güce dönüştürürken, panellerin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlar. MPPT şarj kontrol cihazları, geleneksel PWM (Pulse Width Modulation) kontrol cihazlarına göre çok daha yüksek verimlilik sunar (Shaw,2020).

6. SİSTEM TASARIM BÖLÜMÜ

Bu tez çalışmasında, kara taşıtlarının tavan yüzeyine güneş panelleri yerleştirilerek elektrik enerjisi üretim potansiyelinin belirlenmesine yönelik bir kurgusal çalışma sunulmaktadır. Çalışmada, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) güncel verilerine göre ele alınan kara taşıtlarının toplam sayısı bulunmuş ve bu taşıtların boyutsal ve tasarımsal özellikleri dikkate alınarak, araçların tavan yüzey alanı hesaplanmış, kullanılacak toplam güneş paneli sayısı belirlenmiştir. Araç üstü güneş paneli uygulamaları için güneş paneli seçimi yapılmış ve seçilen güneş panelinin boyutsal ve elektriksel özellikleri paylaşılmıştır. Güneş panelinin ve taşıtların boyutları dikkate alınarak, tezin ilgili bölümünde alan hesaplamaları yapılmış ve kullanılacak olan kara taşıtlarının çatı yüzeyine entegre edilecek toplam güneş paneli sayısı belirlenmiştir.

Güneş panellerinin elektrik enerjisi üretim potansiyelini hesaplayabilmek için gerekli olan günlük ve saatlik güneş ışınım (kW/m^2) değerleri T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün veri havuzundan temin edilmiştir. Bu veriler, taşıtların seyahat ettiği güzergâhlara bağlı olarak, buldukları illerin güneş ışınım verileri ve güneşe maruz kaldığı saat aralıkları dikkate alınarak enerji hesaplamasında kullanılmıştır.

Sistem tasarımına yönelik oluşturulan akış diyagramı, Şekil 6.1'de sunulmaktadır.



Şekil 6. 1.Sistem tasarımına yönelik akış diyagramı

6.1. Esnek Güneş Paneli

Esnek güneş panelleri, geleneksel cam tabanlı panellerin aksine belirli bir açıya kadar bükülebilen ve esnek yapıya sahip fotovoltaik hücrelerden oluşurlar. Bu paneller, genellikle silikon temelli olmayan organik fotovoltaik materyaller veya ince film teknolojisi kullanılarak üretilirler. Bu malzemeler, panellerin daha esnek ve hafif olmasını sağlayarak, çeşitli yüzeylere kolayca entegre edilmelerini sağlar. Bu özellikleri sayesinde esnek güneş panelleri, günümüzde yat, karavan ve bazı araç türlerinde ek enerji üretimi sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kurgulanan çalışmada, %18,5 verimlilik oranına sahip ve 1134x811x3 mm boyutlarında, yüzey alanı 0,9 m² olan esnek güneş paneli tercih edilmiştir. Bu panellerin taşıtların tavan yüzeyine entegre edildiği varsayılarak, 4 mevsim boyunca farklı seyahat güzergahları için enerji üretim potansiyelini belirlemeye yönelik bir sistem tasarımı sunulmaktadır.

Şekil 6.2’de esnek güneş paneli gösterilmektedir.



Şekil 6. 2.Esnek güneş paneli

6.2. Araç Metrajına Göre Kullanılacak Panel Sayısının Hesaplanması

Daha yüksek bir çıkış voltajı elde edebilmek için birden fazla güneş panelinin bir araya getirilmesiyle güneş panelleri oluşturulmaktadır. Kurgulanan sistemlerde ele alınan taşıtların kullanılabilir tavan yüzeyine bağlı olarak kurulu güneş panellerinin sayısını hesaplamak amacıyla Denklem (6.1) kullanılmaktadır.

$$\text{Fotovoltaik hücrenin sayısı} = \frac{\text{Bir aracın tavan yüzey alanı(m}^2\text{)}}{\text{PV hücre alanı(m}^2\text{)}} \quad (6.1)$$

6.3. Otobüs Tipi Araçlar

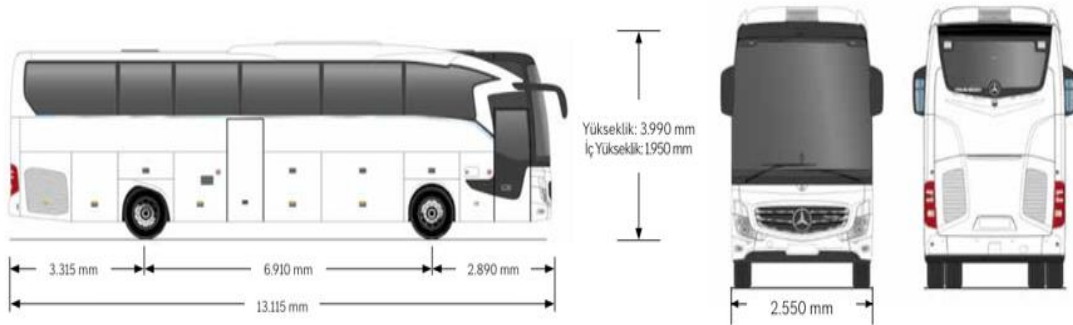
Otobüsler, temel olarak yolcu taşıma amacıyla tasarlanmış ulaşım araçlarıdır. Bu araçların boyutları ve ağırlıkları, kullanım amacı, tipi, modeli, üretici firma ve yerel düzenlemelere göre değişiklik göstermektedir. Genellikle otobüslerin uzunlukları 8 metreden 15 metreye kadar değişir. Büyük otobüsler şehirlerarası yolculuklar için tercih edilirken, daha kompakt modeller ise genellikle şehir içi toplu taşıma hizmetlerinde kullanılmaktadır.

6.3.1. TÜİK Verilerine Göre Güncel Otobüs Sayısı

TÜİK verilerine göre 2024 yılı nisan ayı sonu itibarıyla, Türkiye'de trafiğe kaydedilmiş toplam motorlu kara taşıtı sayısı 29.561,690'dır (URL-3). Bu rakam içinde otobüs sayısı 212.207'dir. Bu da toplam araçların yaklaşık %0,72'sini oluşturmaktadır.

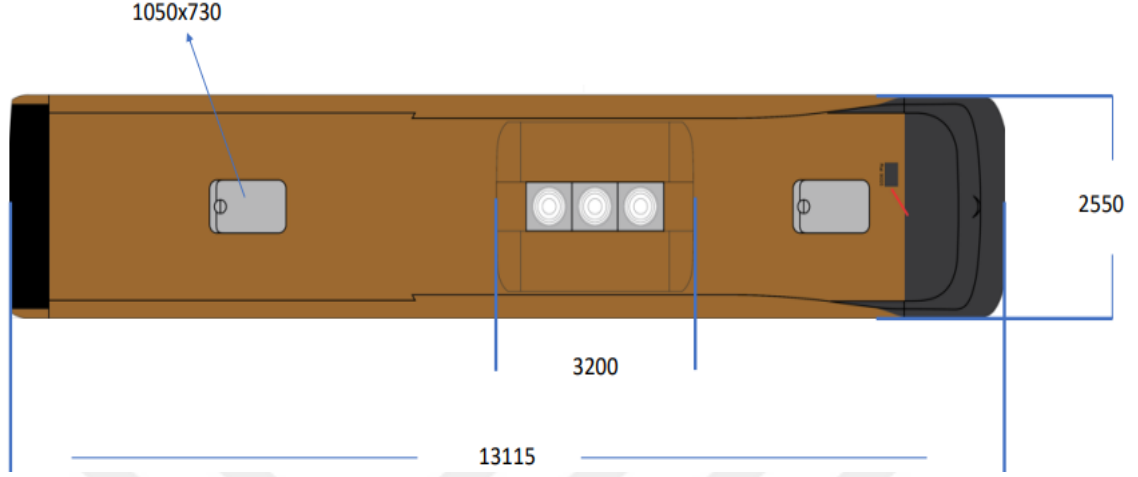
6.3.2. Otobüs Üzerine Panel Yerleştirme

Kurgulanan çalışmada, şehirlerarası seyahatler için tercih edilen Mercedes-Benz markasına ait Travego 16 SHD modeli ele alınmış olup bu aracın teknik kitapçığında yer alan, boyutsal özelliklerinin gösterildiği teknik görsel Şekil 6.3'de sunulmuştur.



Şekil 6. 3.Şehirlerarası otobüs modeli

Otobüsün tavan yüzeyinde yer alan klima sistemi ve gün ışığının içeri girmesini sağlayan cam yüzeylerin boyutlarına ait teknik görsel ise Şekil 6.4'te sunulmaktadır.



Şekil 6. 4.Otobüsün tavan yüzey görüntüsü

Otobüsün tavan yüzeyinde yer alan kısımlara güneş paneli yerleştirilemeyeceğinden, Şekil 6.4'te belirtilen boyutlar dikkate alınarak güneş paneli sayısı hesaplanmıştır.

Aracın tavan yüzey alanı $33,4 \text{ m}^2$, otobüsün tavan yüzeyinde güneş panellerinin yerleştirilemeyeceği yüzeylerin alanları ise $9,69 \text{ m}^2$ olarak hesaplanmıştır.

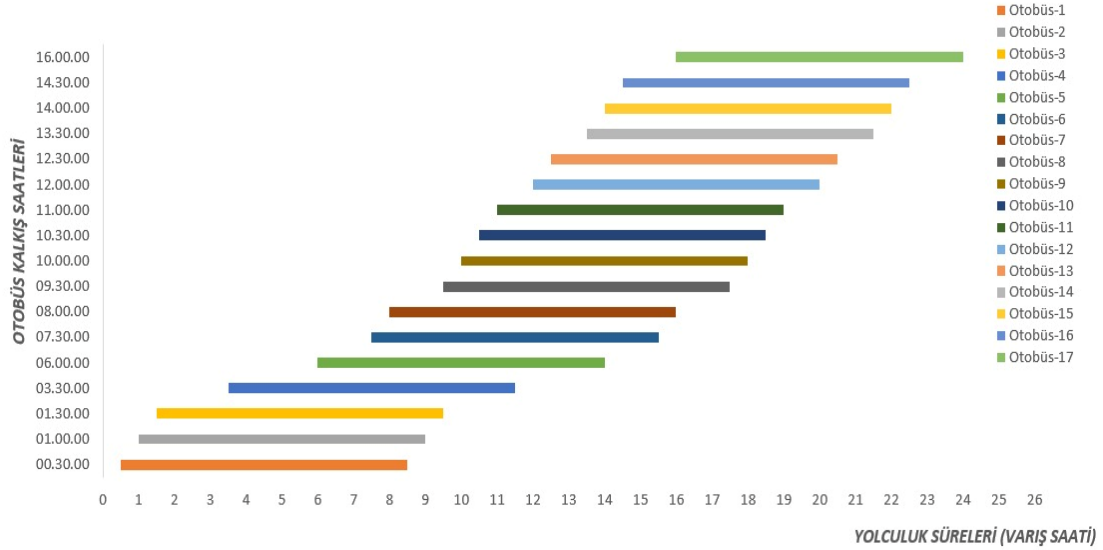
Bu kullanılmayan alanlar tavan yüzey alanından çıkarıldığında, otobüs tavanına güneş panellerinin yerleştirilebileceği toplam alan $23,7 \text{ m}^2$ olarak belirlenmiştir.

Denklem (6.1)'de verilen eşitlik kullanılarak, otobüsün tavan yüzeyine yerleştirilebilecek toplam güneş paneli sayısı belirlenmiştir. Yapılan matematiksel hesaplamalar sonucunda, alanların birbirine oranı en yakın tam sayıya yuvarlanmış ve otobüs tavanına monte edilebilecek güneş paneli sayısının 26 olduğu tespit edilmiştir.

6.3.3. Güneş Panellerinin Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Otobüs üzerine güneş panelleri yerleştirilerek elektrik üretim potansiyelinin belirlenmesine yönelik yapılan bu bölümdeki çalışmada, istatiksel olarak ülkemizdeki otobüs seferleri incelendiğinde Ankara-İzmir güzergâhında çok sık sefer düzenlenmesi sebebiyle, güneş enerjisi elektrik üretim potansiyel hesaplamaları bu rota için yapılmıştır.

Bu rotada Ankara'dan İzmir'e farklı saat dilimlerinde en çok düzenlenen toplam 17 adet otobüs seferi ele alınmıştır. Bu otobüs seferlerinin kalkış ve varış saatlerini gösteren grafik Şekil 6.5'te sunulmaktadır.



Şekil 6. 5.Otobüslerin kalkış ve varış saatleri

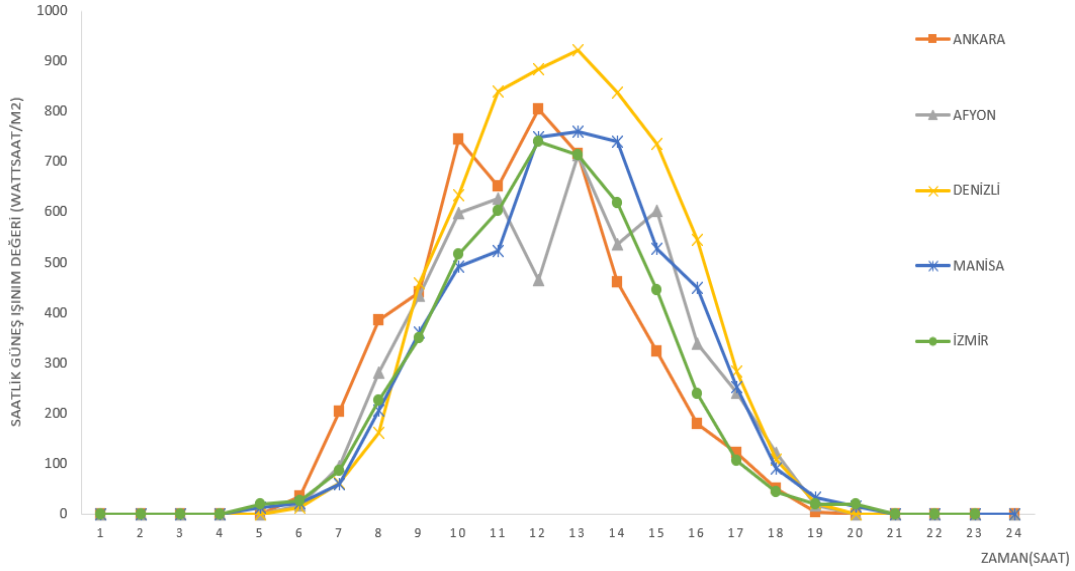
Ankara İzmir güzergâhı arasındaki otobüs yolculuğu, 8 saat sürmekte olup, yolculuk güzergâhı sırasıyla Ankara, Afyon, Denizli, Manisa ve İzmir illerini kapsamaktadır. Bu illerdeki saatlik bulunma veya geçiş süreleri, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu faktörler arasında yol koşulları, hava durumu, otobüsün yolcu kapasitesi, trafik yoğunluğu gibi önemli etkenler yer almaktadır. Ancak ideal koşullar altında, yolculuk süresi boyunca herhangi bir olumsuzluk yaşanmadığı varsayılarak, otobüsün her ildeki geçiş süreleri yol uzunluğu ve navigasyon verileri kullanılarak yaklaşık olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu süreler, Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

Tablo 6. 1.Yolculuk süreleri

Kalkış Noktası	Varış Noktası	Süre (Saat)
Ankara	Afyon	2
Afyon	Denizli	1,5
Denizli	Manisa	2
Manisa	İzmir	1,5
İzmir	-	1

Otobüs yolculuklarının gerçekleştirildiği gün 24 Nisan 2024 olarak kabul edilmiş olup hesaplamalar bu tarihe göre yapılmıştır.

Seçilen tarihe ait şehirlerin saatlik küresel güneş radyasyon değerlerinin değişim grafiği Şekil 6.6'da gösterilmektedir.



Şekil 6. 6.İllerin saatlik küresel güneş radyasyon değerleri

T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen saatlik küresel güneş radyasyon değerleri ise Tablo 6.2'de sunulmuştur.

Tablo 6. 2.İllerin saatlik küresel güneş radyasyon (W/m²) değerleri

Şehir/Saat	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21
ANKARA	0	33,4	20,3,6	38,5	439,2	743,7	650,5	804,1	716,2	459,4	322,9	178,6	120,9	49,9	3,5	0
AFYON	0	16,5	93,2	28,0,2	433,3	598	626,4	464,9	711,8	536,5	601,2	338,8	241,6	121	15,8	0
DENİZLİ	0	12,1	61,6	16,1,8	457,4	632,2	839,4	883	920,8	839,4	734,8	544,2	281,8	108,2	22	0
MANİSA	13,2	20,2	58,3	20	360	491	523	747	759	738	525	449	252	89,1	32,3	13,8
İZMİR	18,9	25,7	84,9	22	349	515	601	740	713	618	444	238	105	43,2	19,6	18,7

Bir güneş paneli tarafından üretilen enerjinin hesaplanması, güneş ışınımı, panel verimliliği ve panelin yüzey alanı gibi çeşitli faktörlere dayanır.

Güneş panelinin üretebileceği enerji miktarını hesaplamak için Denklem (6.2)'de verilen matematiksel eşitlik kullanılmaktadır (Solar Plan Sets,2024).

$$E = G * A * \eta * t \quad (6.2)$$

Denklem (6.2)'de gösterilen:

- E, üretilen enerji miktarını (Wh)
- G, bir bölgedeki küresel güneş ışınım değerini (W/m²),
- A, güneş panelinin yüzey alanını (m²),
- η , güneş panelinin enerji dönüşüm verimliliğini (%)
- t, güneşlenme süresini (h)

ifade eder.

Denklem (6.2)'de verilen enerji üretim formülü, Şekil 6.5'de gösterilen 9 numaralı otobüs seferine uygulanarak, otobüs üzerine yerleştirilen güneş panellerinden üretilen elektrik enerjisi hesaplanmıştır.

OTOBÜS-9;

$$\text{Ankara: } 0,9 * (1 * 743,7 + 1 * 650,5) * 0,185 = 232,1 \text{ Wh}$$

$$\text{Afyon: } 0,9 * (1 * 464,9 + 0,5 * 711,8) * 0,185 = 136,7 \text{ Wh}$$

$$\text{Denizli: } 0,9 * (0,5 * 920,8 + 1 * 839,4 + 0,5 * 734,8) * 0,185 = 277,5 \text{ Wh}$$

$$\text{Manisa: } 0,9 * (0,5 * 525,8 + 1 * 449,5) * 0,185 = 118,6 \text{ Wh}$$

$$\text{İzmir: } 0,9 * 1 * 105,5 * 0,185 = 17,5 \text{ Wh}$$

$$\Sigma E = 782,4 \text{ Wh}$$

Yapılan hesaplamalar sonucunda, 9 numaralı otobüs seferinin 8 saatlik bir yolculuk süresinde bir adet güneş panelinden üretilen elektrik enerjisi 782,4 Wh olarak

hesaplanmıştır. Bölüm 6.3.2’de yapılan değerlendirme sonucunda, bir otobüsün tavan yüzeyine 26 adet güneş paneli yerleştirilebileceği tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, toplam 26 adet güneş panelinden üretilen elektrik enerjisi yaklaşık 20 kWh olarak hesaplanmıştır.

9 numaralı otobüs seferi için yapılan bu hesaplama, Şekil 6.5’de gösterilen diğer otobüsler için de ayrı ayrı yapılmış olup, sonuçlar Tablo 6.3’te sunulmuştur.

Tablo 6. 3.Güneş panellerinden üretilen enerjinin güzergâh bazlı dağılımı

	GÜZERGÂHLARDA ÜRETİLEN ENERJİ (Wh)					Tek Bir PV Panelden Üretilen Toplam Enerji (Wh)	26 Adet PV Panelden Üretilen Toplam Enerji (kWh)
	ANKARA	AFYON	DENİZLİ	MANİSA	İZMİR		
Otobüs 1	-	-	-	3,36	7	10,36	0,26
Otobüs 2	-	-	1	14,5	37,5	53	1,37
Otobüs 3	-	-	2	26,7	47,2	75,9	1,97
Otobüs 4	-	2,74	37,2	101	92,97	233,9	6,08
Otobüs 5	39,5	82,7	213,2	168	118,8	622,2	16,17
Otobüs 6	117,6	135,6	286,7	187,9	478,4	1206,2	31,36
Otobüs 7	137,2	151,7	293,5	186,2	74	842,6	21,9
Otobüs 8	214,5	129,5	293	125	28,7	790,7	20,5
Otobüs 9	232,1	136,7	277,5	118,6	17,5	782,4	20,34
Otobüs 10	237	157,2	262	95,8	12,4	764,4	19,87
Otobüs 11	242,2	163,2	237,5	79,4	7,2	729,5	18,96
Otobüs 12	253,2	139,4	175,2	35,8	3,3	607	15,78
Otobüs 13	224,5	144,7	137,5	17,5	15,2	539,4	14,02
Otobüs 14	163	106,5	65	6,5	1,5	342,5	8,90
Otobüs 15	130,2	76,5	43,3	5	-	255	6,63
Otobüs 16	107	68,4	21,6	2,3	-	199,3	5,18
Otobüs 17	49,8	21,5	1,8	-	-	73,1	1,9

6.4. Büyük Hacimli Araçlar

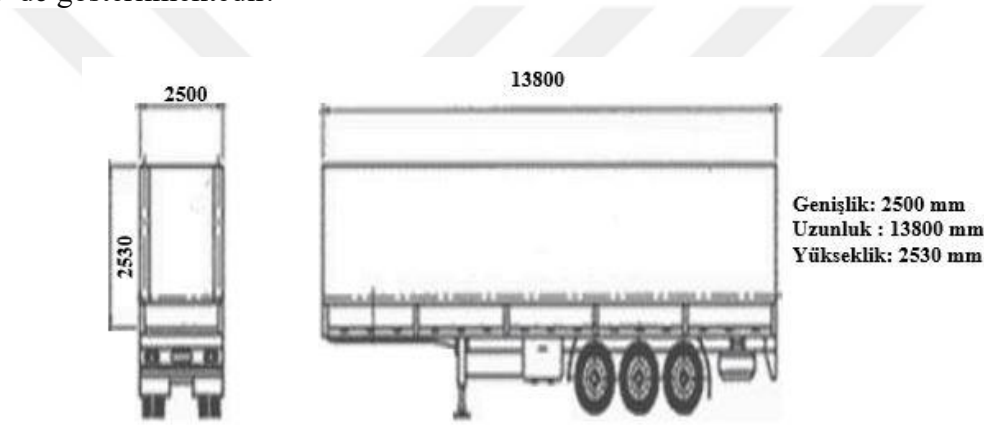
Büyük hacimli araçlar genellikle ağır tonajlı yükleri taşıma kapasitesiyle tasarlanmış olup, ticari araç sınıfında yer almaktadır. Bu taşıt türlerinin teknik özellikleri, geniş bir yelpazede yer alan çeşitli endüstrilerin taleplerine cevap verecek şekilde tasarlanırlar. Sağlam şasisleri, güçlü motorları ve etkili fren sistemleri, ağır yükleri güvenli ve verimli bir şekilde taşımalarını sağlar. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, ağır tonajlı taşıtlar özel bir kategori altında ayrı ayrı sınıflandırılmamaktadır. Bu taşıtların sayıları, kamyon ve tırların toplamını kapsayan 'Kamyon' başlığı altında toplanmaktadır.

6.4.1. TÜİK Verilerine Göre Güncel Kamyon Sayısı

TÜİK verilerine göre 2024 yılı nisan ayı sonu itibariyle, Türkiye'de trafiğe kaydedilmiş toplam motorlu kara taşıtı sayısı 29.591,690'dır (URL-3). Bu rakam içinde büyük hacimli araçların sayısı (kamyon, tır) 975.112'dir bu da toplam araçların %3,29'unu oluşturmaktadır.

6.4.2. Kamyon Üzerine Panel Yerleştirme

Bu bölümde, sıklıkla yük taşımacılığında tercih edilen büyük hacimli bir kamyon türü tercih edilmiş olup bu araç türünün boyutsal özelliklerine ilişkin teknik görsel Şekil 6.7'de gösterilmektedir.



Şekil 6. 7.Büyük hacimli taşıt modeli

Ele alınan taşıtın tavan yüzey alanı $34,5 \text{ m}^2$, güneş panelinin yüzey alanı ise $0,9 \text{ m}^2$ 'dir. Güneş panellerinin uzun kenarı aracın uzun kenarına, kısa kenarı ise aracın kısa kenarına gelecek şekilde konumlandırıldığında, Denklem (6.1)'de verilen eşitlik kullanılarak yapılan hesaplamalara göre, aracın tavan yüzeyine 36 adet güneş paneli yerleştirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

6.4.3. Güneş Panellerinin Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Kamyon üzerine güneş panelleri yerleştirilerek elektrik üretim potansiyelinin belirlenmesine yönelik yapılan bu bölümdeki çalışmada, sıklıkla yük taşımacılığının yapıldığı Samsun Limanı'ndan Antalya Limanı'na giden araç güzergâh seçilmiştir. Bu yolculuk sırasında aracın geçeceği iller şu şekildedir: Samsun, Amasya, Tokat, Sivas, Kayseri, Niğde, Konya ve Antalya.

İdeal koşullar altında, yolculuk süresi boyunca herhangi bir olumsuzluk yaşanmadığı varsayılarak otobüsün her ildeki geçiş süreleri, yol uzunluğu ve navigasyon verileri kullanılarak yaklaşık olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu süreler, Tablo 6.4'te gösterilmiştir.

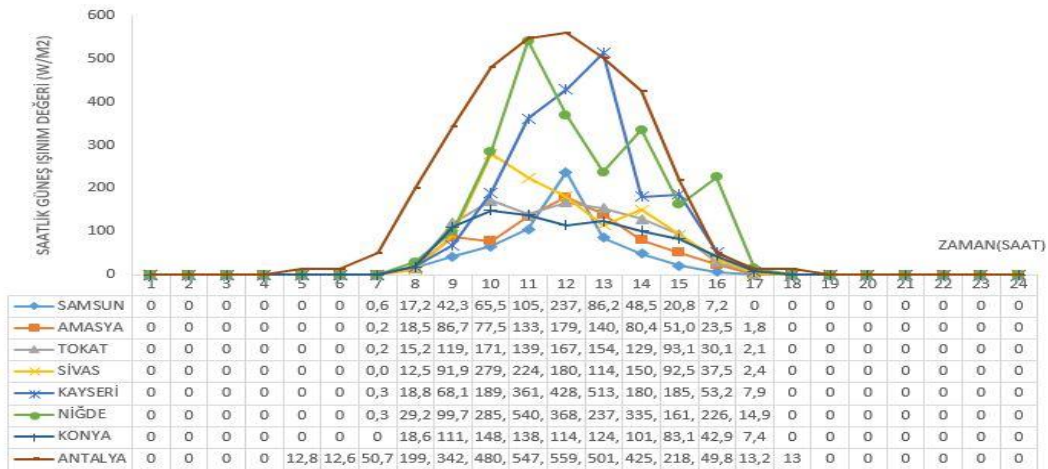
Tablo 6. 4.Şehirler arası geçiş süreleri

Kalkış Noktası	Variş Noktası	Süre (Saat)
Samsun	Amasya	1,5
Amasya	Tokat	1
Tokat	Sivas	2
Sivas	Kayseri	2
Kayseri	Niğde	1,5
Niğde	Konya	1,5
Konya	Antalya	4
Antalya	-	1

Bu bölümde, dört mevsim için güneş enerjisi üretim potansiyeli değerlendirilecektir. Güneş panelinden üretilecek enerji miktarı, Denklem (6.2)'de verilen matematiksel eşitlik kullanılarak hesaplanacak ve dört mevsim için analiz gerçekleştirilecektir.

6.4.3.1. Kış Mevsimi İçin Enerji Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi

Bu bölümde Şekil 6.8'de yer alan güneş ışınım değerleri kullanılarak 7 Ocak 2024 tarihine ait üretim potansiyeli hesabı yapılmıştır.



Şekil 6. 8. 07.01.2024 tarihine ait saatlik küresel güneş ışınım grafiği

7 Ocak 2024 tarihine ait küresel güneş ışınım değerleri T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiş olup, güneş ışınım değerlerinin saatlik bazda gösterimi Şekil 6.8'de sunulmuştur. Bölüm 6.4.3'te yer alan Tablo 6.4'te belirtilmiş olan aracın ilgili şehirlerdeki geçiş süreleri dikkate alınarak, Denklem (6.2)'de verilen matematiksel eşitliğe göre üretilen enerjiler hesaplanmış ve Tablo 6.5'te sunulmuştur.

Ancak bu hesaplamaların gerçekleştirilmesinde bulutluluk, gölgelenme ve diğer atmosferik etkiler gibi çevresel faktörler dikkate alınmamıştır. Her saat için yapılan elektrik enerjisi üretim hesaplamaları, güneş panellerinin sürekli güneş ışığına maruz kaldığı varsayılarak gerçekleştirilmiştir.

Çevresel faktörler ve hava koşulları, güneş panellerinin performansında değişikliklere neden olabileceğinden, hesaplamalarda öngörülen ideal koşullardan sapmalar meydana gelebilir ve bu durum bir günde üretilen enerji miktarında (hesaplanan 10,3 kWh enerji) değişkenliğe sebep olacaktır. Bu nedenle güneş panellerinin performansı, hesaplamalarda öngörülen ideal koşullardan sapma gösterebilir.

Tablo 6.5. Kış mevsimine ait saatlik bazda üretilen toplam enerji (Wh)

Zaman Dilimi	Samsun	Amasya	Tokat	Sivas	Kayseri	Niğde	Konya	Antalya
00 ⁰⁰ -05 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	0
05 ⁰⁰ -06 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	0
06 ⁰⁰ -07 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	0
07 ⁰⁰ -08 ⁰⁰	0	0	0,016	0	0	0	0	0
08 ⁰⁰ -09 ⁰⁰	0	0	2,53	0	0	0	0	0
09 ⁰⁰ -10 ⁰⁰	0	0	9,956	7,65	0	0	0	0
10 ⁰⁰ -11 ⁰⁰	0	0	0	46,5	0	0	0	0
11 ⁰⁰ -12 ⁰⁰	0	0	0	18,7	30,11	0	0	0
12 ⁰⁰ -13 ⁰⁰	0	0	0	0	71,26	0	0	0
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	0	0	0	0	0	39,5	0	0
14 ⁰⁰ -15 ⁰⁰	0	0	0	0	0	27,89	8,47	0
15 ⁰⁰ -16 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	13,83	0
16 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	7,14	0

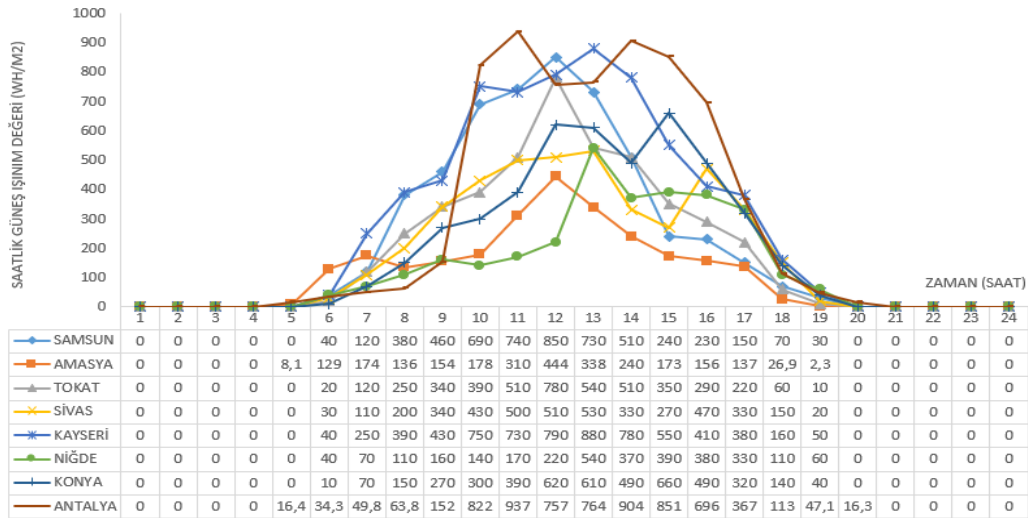
Tablo 6.5. (Devam) Kış mevsimine ait saatlik bazda üretilen toplam enerji (Wh)

Zaman Dilimi	Samsun	Amasya	Tokat	Sivas	Kayseri	Niğde	Konya	Antalya
17 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	1,23	0
18 ⁰⁰ -19 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	1,098
19 ⁰⁰ -20 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	1,090
20 ⁰⁰ -24 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	0
Üretilen Enerji (Wh)	0	0	12,5	72,83	101,37	67,4	30,67	2,18
TOPLAM ENERJİ (kWh): 286,9 Wh (Bir adet güneş panelinden üretilen enerji)								

Yapılan hesaplamalar neticesinde, 13800x2500 mm boyutlarında büyük hacimli bir kara taşıtının üzerine monte edilen toplam 36 adet güneş panelinin, 07.01.2024 tarihindeki güneş ışınımı koşulları altında, gün doğumundan gün batımına kadar olan zaman dilimi boyunca yaklaşık olarak 10,3 kWh enerji üretebileceği tespit edilmiştir.

6.4.3.2. İlkbahar Mevsimi İçin Enerji Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi

Bu bölümde Şekil 6.9'da yer alan güneş ışınım değerleri kullanılarak 11 Mayıs 2023 tarihine ait üretim potansiyeli hesabı yapılmıştır.



Şekil 6. 9. 11.05.2023 tarihine ait saatlik küresel güneş ışınım grafiği

Şekil 6.9'da gösterilen güneş ışınım değerleri ve Tablo 6.4'te belirtilen aracın ilgili şehirlerdeki geçiş süreleri dikkate alınarak, Denklem (6.2)'de verilen matematiksel eşitliğe göre üretilen enerjiler hesaplanmış ve Tablo 6.6'da sunulmuştur.

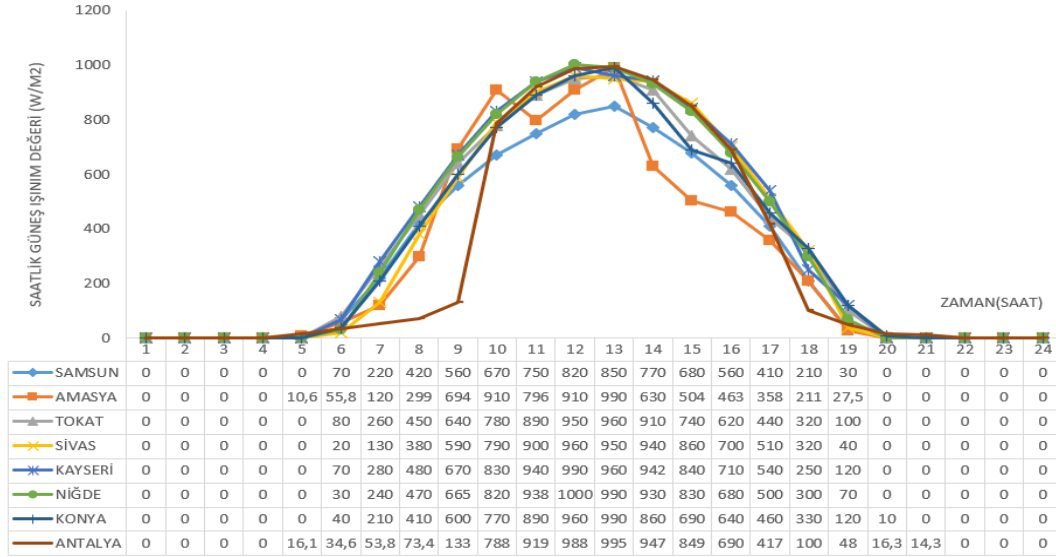
Tablo 6. 6. İlkbahar mevsimine ait saatlik bazda üretilen toplam enerji (Wh)

Zaman Dilimi	Samsun	Amasya	Tokat	Sivas	Kayseri	Niğde	Konya	Antalya
00 ⁰⁰ - 05 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	0
05 ⁰⁰ -06 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	0
06 ⁰⁰ -07 ⁰⁰	3,33	10,74	0	0	0	0	0	0
07 ⁰⁰ -08 ⁰⁰	0	14,45	10	0	0	0	0	0
08 ⁰⁰ -09 ⁰⁰	0	0	41,62	0	0	0	0	0
09 ⁰⁰ -10 ⁰⁰	0	0	28,3	28,3	0	0	0	0
10 ⁰⁰ -11 ⁰⁰	0	0	0	71,59	0	0	0	0
11 ⁰⁰ -12 ⁰⁰	0	0	0	41,62	60,77	0	0	0
12 ⁰⁰ -13 ⁰⁰	0	0	0	0	131,5	0	0	0
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	0	0	0	0	0	89,91	0	0
14 ⁰⁰ -15 ⁰⁰	0	0	0	0	0	30,8	40,8	0
15 ⁰⁰ -16 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	110	0
16 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	81,5	0
17 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	53,2	0
18 ⁰⁰ -19 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	11,65	9,4
19 ⁰⁰ -20 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	4
20 ⁰⁰ -24 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	0
Üretilen Enerji (Wh)	3,33	25,2	79,92	141,51	192,27	120,71	297,15	13,4
TOPLAM ENERJİ (kWh): 873,5 Wh (Bir adet güneş panelinden üretilen enerji)								

Yapılan hesaplamalara göre, 13800x2500 mm boyutlarında büyük hacimli bir kara taşıtının üzerine monte edilen 36 adet güneş panelinin, 11.05.2023 tarihindeki güneş ışınımı koşulları altında, gün doğumundan gün batımına kadar olan zaman diliminde (saat 05⁰⁰ – 19³⁰ arası) yaklaşık, 31,5 kWh enerji üretilebileceği tespit edilmiştir.

6.4.3.3. Yaz Mevsimi İçin Enerji Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi

Bu bölümde Şekil 6.10'da yer alan güneş ışınım değerleri kullanılarak 12 Temmuz 2023 tarihine ait üretim potansiyeli hesabı yapılmıştır.



Şekil 6. 10.12.07.2023 tarihine ait saatlik küresel güneş ışınım grafiği

Şekil 6.10'da gösterilen güneş ışınım değerleri ve aracın ilgili şehirlerde bulunma süreleri (Tablo 6.4'te belirtilen) dikkate alınarak, Denklem (6.2)'de verilen eşitliğe göre üretilen enerjiler hesaplanmış ve Tablo 6.7'de sunulmuştur.

Tablo 6. 7.Yaz mevsimine ait saatlik bazda üretilen toplam enerji (Wh)

Zaman Dilimi	Samsun	Amasya	Tokat	Sivas	Kayseri	Niğde	Konya	Antalya
00 ⁰⁰ - 05 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	0
05 ⁰⁰ -06 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	0
06 ⁰⁰ -07 ⁰⁰	5,82	4,64	0	0	0	0	0	0
07 ⁰⁰ -08 ⁰⁰	0	10	21,6	0	0	0	0	0
08 ⁰⁰ -09 ⁰⁰	0	0	74,9	0	0	0	0	0
09 ⁰⁰ -10 ⁰⁰	0	0	53,28	49,11	0	0	0	0
10 ⁰⁰ -11 ⁰⁰	0	0	0	131,5	0	0	0	0
11 ⁰⁰ -12 ⁰⁰	0	0	0	74,9	78,25	0	0	0
12 ⁰⁰ -13 ⁰⁰	0	0	0	0	164,8	0	0	0
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	0	0	0	0	0	164,8	0	0

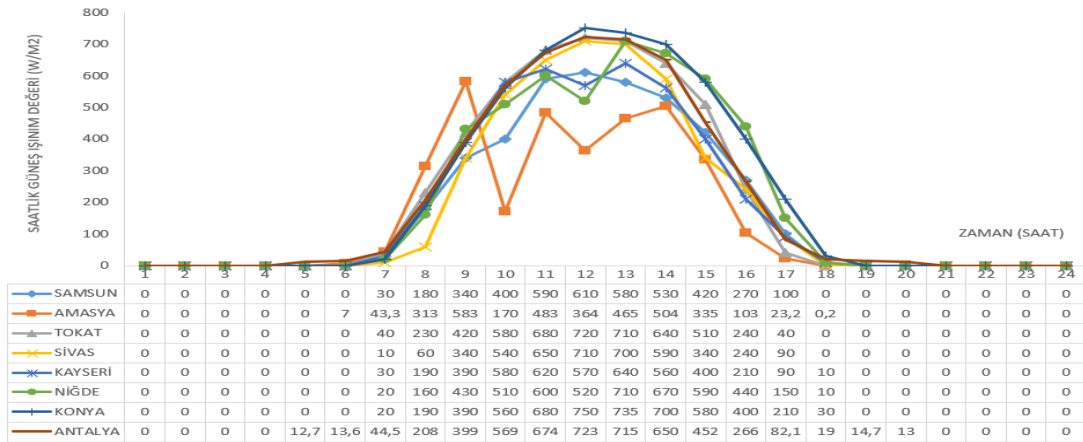
Tablo 6.7. (Devam) Yaz mevsimine ait saatlik bazda üretilen toplam enerji (Wh)

Zaman Dilimi	Samsun	Amasya	Tokat	Sivas	Kayseri	Niğde	Konya	Antalya
14 ⁰⁰ -15 ⁰⁰	0	0	0	0	0	77,4	71,5	0
15 ⁰⁰ -16 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	114,8	0
16 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	106,5	0
17 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	76,5	0
18 ⁰⁰ -19 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	27,47	8,34
19 ⁰⁰ -20 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	4
20 ⁰⁰ -24 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	0
Üretilen Enerji (Wh)	5,82	14,64	149,7	255,5	243,1	242,2	397	12,33
TOPLAM ENERJİ (Wh): 1320,3 (Bir adet güneş panelinden üretilen enerji)								

Yapılan hesaplamalara göre, 13800x2500 mm boyutlarında büyük hacimli bir taşıtın üzerine yerleştirilen 36 adet güneş paneli ile 12.07.2023 tarihinde saat 05⁰⁰ – 19³⁰ arasında yaklaşık, 47,5 kWh enerji üretilebileceği belirlenmiştir.

6.4.3.4. Sonbahar Mevsimi İçin Enerji Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi

Bu bölümde Şekil 6.11’de yer alan güneş ışınım değerleri kullanılarak 8 Ekim 2023 tarihine ait üretim potansiyeli hesabı yapılmıştır.



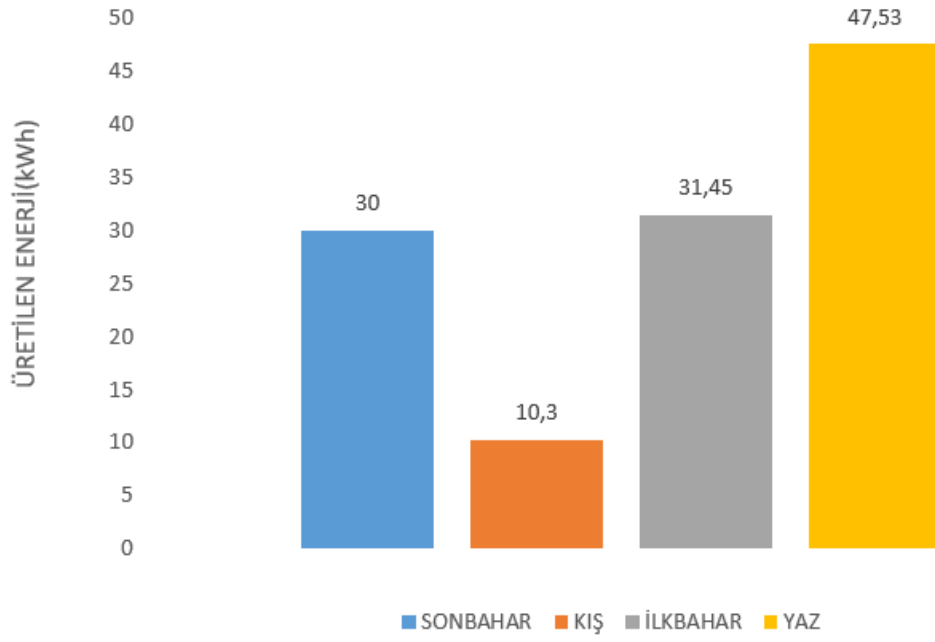
Şekil 6. 11. 08.10.2023 tarihine ait saatlik küresel güneş ışınım grafiği

Şekil 6.11'de gösterilen güneş ışınım değerleri ve aracın ilgili şehirlerde bulunma süreleri (Tablo 6.4'te belirtilen) dikkate alınarak, Denklem (6.2)'de verilen eşitliğe göre üretilen enerjiler hesaplanmış ve Tablo 6.8'de sunulmuştur.

Tablo 6. 8.Sonbahar mevsimine ait saatlik bazda üretilen toplam enerji (Wh)

Zaman Dilimi	Samsun	Amasya	Tokat	Sivas	Kayseri	Niğde	Konya	Antalya
00 ⁰⁰ - 05 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	0
05 ⁰⁰ -06 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	0
06 ⁰⁰ -07 ⁰⁰	0	0,6	0	0	0	0	0	0
07 ⁰⁰ -08 ⁰⁰	0	3,6	3,33	0	0	0	0	0
08 ⁰⁰ -09 ⁰⁰	0	0	38,3	0	0	0	0	0
09 ⁰⁰ -10 ⁰⁰	0	0	35	28,3	0	0	0	0
10 ⁰⁰ -11 ⁰⁰	0	0	0	90	0	0	0	0
11 ⁰⁰ -12 ⁰⁰	0	0	0	54,1	51,6	0	0	0
12 ⁰⁰ -13 ⁰⁰	0	0	0	0	95	0	0	0
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	0	0	0	0	0	118,2	0	0
14 ⁰⁰ -15 ⁰⁰	0	0	0	0	0	55,7	58,27	0
15 ⁰⁰ -16 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	96,5	0
16 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	66,6	0
17 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	34,9	0
18 ⁰⁰ -19 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	2,5	1,58
19 ⁰⁰ -20 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	1,22
20 ⁰⁰ -24 ⁰⁰	0	0	0	0	0	0	0	0
Üretilen Enerji (Wh)	0	4,2	76,63	172,4	146,6	174	258,77	2,8
TOPLAM ENERJİ (kWh): 835,4 Wh (Bir adet güneş panelinden üretilen enerji)								

Yapılan hesaplamalara göre, 13800x2500 mm boyutlarında büyük hacimli bir taşıtın üzerine yerleştirilen 36 adet güneş paneli ile 08.10.2023 tarihinde saat 05⁰⁰ – 19³⁰ arasında yaklaşık, 30 kWh enerji üretilebileceği belirlenmiştir.



Şekil 6. 12. Dört mevsim için üretilen toplam enerji dağılım grafiği

4 mevsim için yapılan hesaplamalar sonucunda kamyon üzerine yerleştirilen 36 adet güneş paneli aracılığıyla mevsimlerin belirli günlerinde üretilen enerji miktarları analiz edilmiş olup, analiz sonuçları Şekil 6.12’de gösterilmiştir. Bu veriler incelendiğinde, ülkemizin güneş enerjisi potansiyelinin mevsimsel değişikliklere rağmen oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Kış mevsiminde üretilen enerji miktarı diğer mevsimlere göre daha düşük olmasına rağmen, yine de kayda değer bir enerji üretimi sağlanabildiği görülmektedir.

6.5. Minibüs Tipi Araçlar

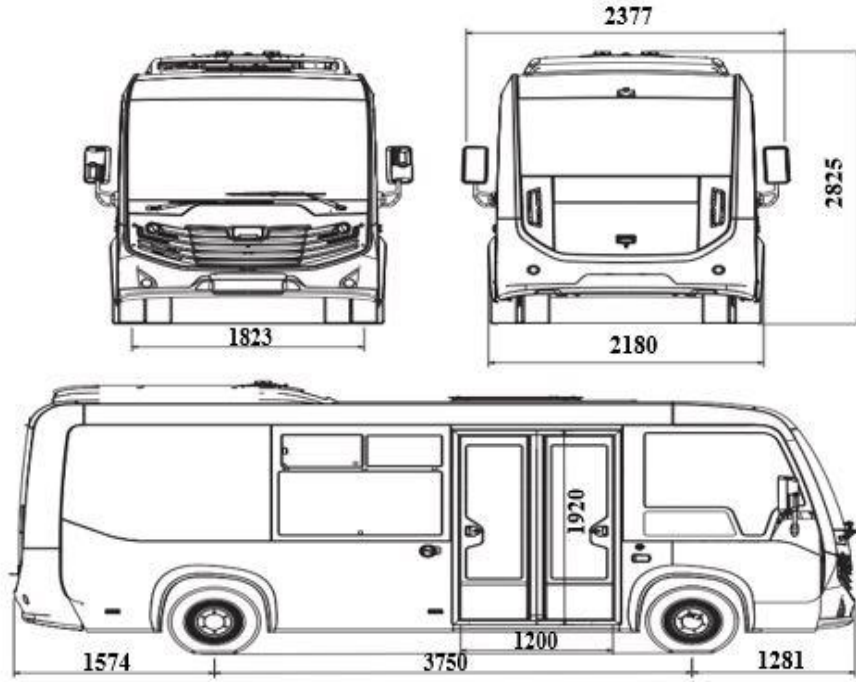
Minibüsler, genellikle daha küçük bir grup insanı taşımak amacıyla tasarlanmış bir karayolu taşıtıdır. Daha kompakt ve manevra kabiliyeti yüksek olan minibüsler, şehir içi toplu taşıma, özel servisler, turizm ve özel kullanım gibi çeşitli alanlarda etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Minibüslerin uzunlukları genellikle 4 metreden başlayarak 7 metreye kadar çeşitlilik gösterir. Ancak, özel tasarımlı ve büyük kapasiteli minibüs modelleri daha uzun bir yapıya sahip olabilir. Boş ağırlıkları ise genellikle 2000 kg ile 7000 kg arasında olabilir. Bu değerler, minibüsün tasarım özelliklerine, kullanım amacına ve taşıma kapasitesine göre değişkenlik arz eder.

6.5.1. TÜİK Verilerine Göre Güncel Minibüs Sayısı

TÜİK verilerine göre 2024 yılı nisan ayı sonu itibariyle, Türkiye'de trafiğe kaydedilmiş toplam motorlu kara taşıtı sayısı 29.561,690'dır (URL-3). Bu rakam içinde minibüs sayısı 509.502'dir bu da toplam araçların %1,72'sini oluşturmaktadır.

6.5.2. Minibüs Üzerine Panel Yerleştirme

Bu çalışmada şehir içi yolculuklarda kullanılan minibüs modeli tercih edilmiş olup bu aracın boyutsal özelliklerine ilişkin teknik görsel Şekil 6.13'de sunulmuştur.



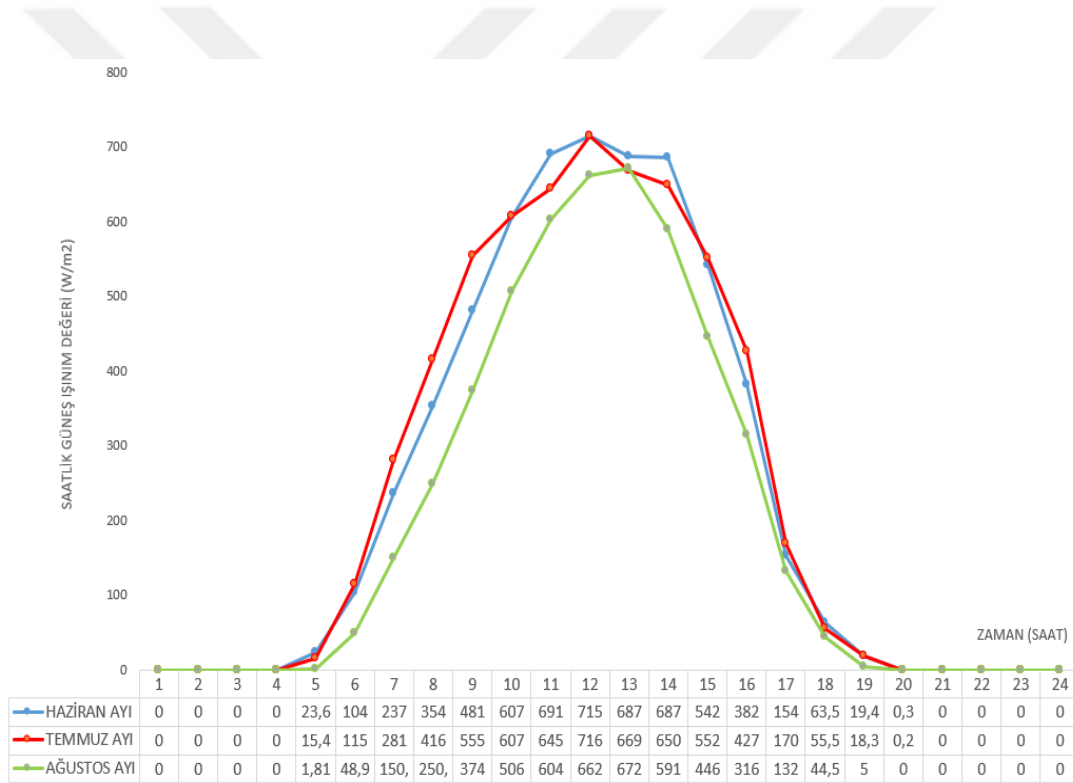
Şekil 6. 13. Şehir içi minibüs modeli

Minibüsün tavan yüzey alanı yaklaşık 12 m², güneş panellerinin yerleştirilemeyeceği alanlar ise 5,5 m² olarak hesaplanmıştır. Bu kullanılmayan alanlar tavan yüzey alanından çıkarıldığında, güneş panellerinin yerleştirilebileceği toplam yüzey alan 6,5 m² olarak belirlenmiştir. Denklem (6.1)'de verilen eşitlik kullanılarak, minibüsün tavan yüzeyine yerleştirilebilecek toplam güneş paneli sayısı hesaplanmıştır. Yapılan matematiksel hesaplamalar sonucunda, alanların birbirine oranı en yakın tam sayıya yuvarlanmış ve minibüsün tavanına monte edilebilecek güneş paneli sayısının 7 olduğu tespit edilmiştir.

6.5.3. Güneş Panellerinin Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Minibüs üzerine güneş panelleri yerleştirilerek elektrik enerjisi üretim potansiyelinin belirlenmesine yönelik yapılan bu bölümdeki çalışmada, Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan 2022 yılına ait aylık güneş ışınım verileri incelenmiştir. 12 ay içerisinde saatlik bazda en yüksek güneş ışınım değerlerine sahip olan haziran, temmuz ve ağustos ayları seçilerek, bu aylar için elektrik üretim hesaplamaları yapılmıştır.

Şekil 6.14'te, haziran, temmuz ve ağustos aylarının, aylık ortalama saatlik güneş ışınım değerleri sunulmuştur.



Şekil 6. 14. Ordu iline ait saatlik küresel güneş ışınım grafiği

Şekil 6.14'te sunulan saatlik küresel güneş ışınım değerleri, güneş panelinin yüzey alanı ve verimlilik oranı dikkate alınmış olup, Denklem (6.2)'de verilen matematiksel eşitlik kullanılarak her saat dilimi için üretilen enerji miktarları hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 6.9'da sunulmuştur.

Tablo 6. 9. Ordu iline ait aylara göre üretilen enerji

Zaman Dilimi	Tek Bir Güneş Panelinden Üretilen Enerji (Wh)		
	Haziran	Temmuz	Ağustos
00 ⁰⁰ - 05 ⁰⁰	0	0	0
05 ⁰⁰ -06 ⁰⁰	3,92	2,56	0,30
06 ⁰⁰ -07 ⁰⁰	17,33	19,21	8,14
07 ⁰⁰ -08 ⁰⁰	39,46	46,80	25
08 ⁰⁰ -09 ⁰⁰	58,94	69,18	41,64
09 ⁰⁰ -10 ⁰⁰	80,15	92,37	62,27
10 ⁰⁰ -11 ⁰⁰	100,98	101,11	84,31
11 ⁰⁰ -12 ⁰⁰	115,03	107,42	100,48
12 ⁰⁰ -13 ⁰⁰	119,03	119,13	110,18
13 ⁰⁰ -14 ⁰⁰	114,43	111,32	111,82
14 ⁰⁰ -15 ⁰⁰	114,3	108,25	98,41
15 ⁰⁰ -16 ⁰⁰	90,17	91,87	74,22
16 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	63,63	71,06	52,53
17 ⁰⁰ -18 ⁰⁰	25,64	28,30	22
18 ⁰⁰ -19 ⁰⁰	10,57	9,24	7,4
19 ⁰⁰ -20 ⁰⁰	3,23	3,04	0,83
20 ⁰⁰ -24 ⁰⁰	0	0	0
Toplam Enerji (Wh)	956,81	980,86	799,53
7 Adet Güneş Panelinden Üretilen Enerji (kWh)	6,7	6,87	5,59

7. SİSTEM BİLEŞENLERİNE AİT MALİYET ANALİZİ

Tezin bu bölümünde, büyük hacimli taşıtlar için tasarlanan sisteme yönelik maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Büyük hacimli taşıt türüne en yüksek sayıda panelin yerleştirilmesiyle maksimum maliyet analizi yapılmış ve bu sayede tasarlanan sistemin uygulanabilirliği tır üzerinden değerlendirilmiştir.

7.1. Güneş Paneli Maliyeti

Fotovoltaik sistemlerin maliyetlerinin en büyük kısmını güneş panelleri oluşturmaktadır. Güneş panellerinin maliyetleri, panel türüne, boyutuna, gücüne, verimliliğine ve kurulum maliyetlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Güneş panelleri, çeşitli markalar tarafından üretilmekte olup, bu durum fiyat farklılıklarına yol açmaktadır. Bu tez çalışmasında, ele alınan taşıtlar için kurgulanan tüm sistemlerde, TommaTech markasına ait, esnek monokristalin teknolojisiyle üretilmiş, 170 Wp gücündeki güneş paneli tercih edilmiştir. TommaTech esnek güneş panelleri, yüksek ışık geçirgenliği sunan ETFE polimer, dayanıklı fiberglass ve yüksek verimli IBC (Interdigitated Back Contact) teknolojisiyle üretilmiştir. Bu paneller, esnek yapıları sayesinde 30 dereceye kadar eğilebilir ve araç yüzeyine kolayca monte edilebilir. Ayrıca, suya ve toza karşı yüksek direnç sunan IP68 koruma sınıfına sahip olmaları, bu panelleri dış mekân kullanımı için ideal hale getirmektedir. Tablo 7.1’de güneş panelinin özellikleri detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 7. 1.Esnek güneş panelinin özellikleri

MARKA/MODEL TİPİ	TommaTech TT-FLEX-170/170Wp
Maksimum Güç (P_{max}) [Wp]	170
Modül Verimliliği (%)	18,5
Maksimum Güç Voltajı (V_{mp}) [V]	28,82
Maksimum Güç Akımı (I_{mp}) [A]	5,90
Açık Devre Gerilimi (V_{oc}) [V]	34,6
Kısa Devre Akımı (I_{sc}) [A]	6,33
Ağırlık (kg)	3,2
Boyutlar (mm)	1134x811x3
Fiyat	14.964,63 TL/464,7 USD

Kurgulanan çalışma için yapılan ekonomik analiz, güncel döviz kuru dikkate alınarak gerçekleştirilmiş olup, analizde 1 dolar 32,20 TL olarak alınmıştır.

Bu maliyet analizi kapsamında, tırın tavan yüzeyinde kullanılan toplam 36 adet güneş paneli dikkate alınmış ve her bir panelin birim fiyatı 464,7 USD olarak kabul edilmiştir.

Toplam Maliyet: $36 * 464,7 = 16.729,2$ USD

7.2. Bağlantı ve Montaj Ekipmanı Maliyetleri

Güneş panellerinin seri ve paralel bağlanması, sistemin toplam voltajını ve akımını belirler. Seri bağlantı, voltajı artırırken akımı sabit tutar; paralel bağlantı ise akımı artırırken voltajı sabit tutar. Bu nedenle güneş panellerini en verimli şekilde bağlamak için, seri ve paralel bağlantıların bir kombinasyonu kullanılmaktadır.

Büyük hacimli taşıt için kullanılan 36 adet güneş paneli, her biri 12 panelden oluşan 3 seri grup halinde bağlanır. Ardından, bu 3 grup paralel bağlanarak yüksek voltaj ve orta seviyede akım sağlanır. Bu yöntemle iletim esnasında oluşabilecek enerji kayıpları azaltılır.

Tasarlanan sistemde kullanılan esnek güneş panelinin elektriksel özellikleri dikkate alınarak;

Her grupta, 12 adet güneş paneli seri bağlanırsa;

- Toplam Voltaj = $12 \times 28,82V = 345,84V$
- Akım = 5,90A

Seri bağlanan 3 grup paralel bağlanırsa;

- Voltaj = 345,84V
- Toplam Akım = $3 \times 5,90A = 17,7A$

Sistemin toplam akımını, yani 17,7A'ı taşıyabilecek kapasitede bir kablo seçilmelidir. Güneş panellerinden bataryaya doğrudan bağlantı sağlamak için, UV ışınlarına, neme ve dış etkenlere dayanıklı, yüksek akım taşıma kapasitesine sahip, PV kablolar

kullanılmalıdır. Genellikle, 10 AWG PV kabloları 30A'ya kadar akım taşıyabilir, bu nedenle bu kablolar uygun bir seçim olacaktır.

Seri Bağlantı (Her Grup İçin):

- Seri bağlantılar, panelin artı ucunu bir sonraki panelin eksi ucuna bağlayarak yapılır. Bu bağlantılar, genellikle güneş panellerinin üzerinde bulunan MC4 konektörleri ile gerçekleştirilir, bu nedenle ek kablo kullanımını genellikle gerekmez.

Gruplar Arası Paralel Bağlantı ve Bataryaya Bağlantı:

- 3 grubu paralel bağlamak için her grubun ortak bir noktaya (bataryaya) bağlanması gerekecektir.
- Gruplar arası bağlantı uzunluğu, panel yerleşim düzenine göre değişecektir. Grupların ortalama 1 metre mesafede olduğu varsayılırsa, toplamda yaklaşık 3 metre kablo gerekli olacaktır.

Grupların bataryaya olan ortalama mesafesi 5 metre kabul edilirse, her grup için 5 metre kablo gerekecektir. Üç grup olduğundan, toplamda 15 metre kablo gerekmektedir. Ancak, bağlantılarda hata payı olma ihtimali göz önünde bulundurularak, ilave 2 metre kablo temin edildiği düşünülebilir.

- Toplam (metre): $3+15+2= 20$

10 AWG kablo fiyatları metre başına 1,5-3 USD arasında değişmektedir.

Metre başına ortalama 2 USD olduğu kabul edilirse;

- Toplam maliyet: $20 \text{ metre} \times 2 \text{ \$/metre} = 40 \text{ USD}$.

7.3. MPPT Şarj Kontrol Cihazı Seçimi ve Maliyeti

MPPT şarj kontrol cihazı seçimi yapılırken, sistem parametrelerine uygun bir cihaz seçilmelidir. Bu çalışmada kullanılan toplam güneş paneli sayısı 36 olup, her biri 12 panelden oluşan 3 seri bağlı grup bulunmaktadır. Seri bağlı panellerin toplam voltajı 345,84V (12 x 28,82V) olarak hesaplanmıştır. Paralel bağlı grupların toplam akımı ise 17,7A'dır (3 x 5,9A).

Nominal batarya voltajı 350-400V aralığında olduğu kabul edilirse, seçilen MPPT şarj kontrol cihazının bu voltaj aralığını desteklemesi gerekmektedir. Ayrıca, şarj cihazının kullanılan batarya tipiyle uyumlu olmasına da dikkat edilmelidir. Bu kriterler doğrultusunda yapılan seçimler, güneş enerji sistemlerinin verimli ve güvenli çalışmasını sağlayacaktır.

Tasarlanan sistem için, en az 400V maksimum giriş voltajı, en az 20A maksimum giriş akımı, 350-400V nominal batarya voltajı ve en az 6 kW çıkış gücüne sahip bir MPPT şarj kontrol cihazı seçilmelidir. Günümüz piyasası incelendiğinde, bu özelliklere sahip bir MPPT şarj kontrol cihazının fiyat aralığı 1000-2500 USD arasında değişmektedir.

7.4. DC-DC Dönüştürücü Seçimi ve Maliyeti

DC-DC dönüştürücü seçimi yapılırken, sistem parametrelerine uygun bir cihaz belirlemek gerekmektedir. Bu çalışmada güneş paneli sisteminin gerilimi 345,84 V ve sistem akımı 17,7 A olarak kabul edildiğinden, bu değerleri karşılayabilecek giriş gerilimi ve giriş akımına sahip bir DC-DC dönüştürücü seçmek, elektrikli araç bataryasının güvenli bir şekilde şarj edilebilmesi için kritik öneme sahiptir.

DC-DC dönüştürücülerin fiyat aralığı, birçok faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu faktörler arasında dönüştürücünün giriş ve çıkış voltaj kapasitesi, maksimum güç çıkışı, verimlilik oranı, üretici firma gibi kriterler yer almaktadır. Piyasada, 345,84 V giriş gerilimi ve 17,7 A giriş akımına sahip bir DC-DC dönüştürücünün fiyat aralığı genellikle 500-2000 USD arasında değişmektedir. Örneğin, Victron Energy Orion-Tr modelleri 800-2000 USD, ElCon TDC-IY-320-12 modeli ise 625 USD civarındadır. Mean Well ve Sunpower gibi üreticiler de benzer özelliklerde ürünler sunmakta olup, fiyatlar genellikle 500-1500 USD arasında değişiklik göstermektedir. Bu fiyat aralığı, dönüştürücünün teknik özellikleri, kalite standartları ve ek özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

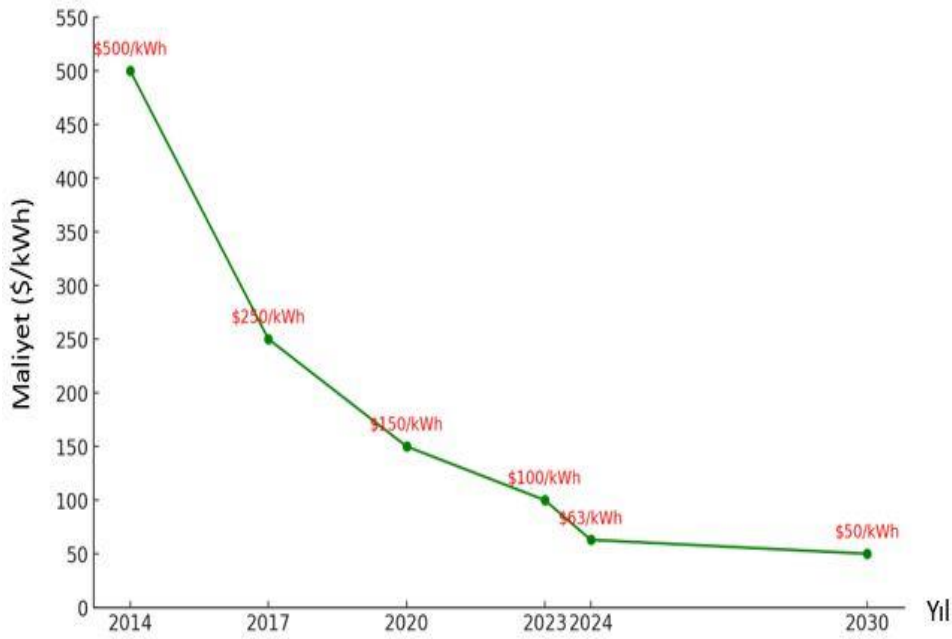
7.5. Lityum İyon Batarya Maliyeti

Elektrikli araçların bataryalarını, güneş panellerinden üretilen enerjiyle şarj edilen taşınabilir bir batarya kullanarak şarj etmek için dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri, bataryaların gerilim değerlerinin uyumlu olmasıdır.

Elektrikli araçlarda (EV) yaygın olarak kullanılan bataryaların nominal gerilim değerleri genellikle 350-400 volt aralığındadır. Bu nedenle, şarj etmek için kullanılacak bataryanın da benzer bir gerilim değerine sahip olması gerekmektedir.

Lityum iyon bataryaları, uygun dönüştürücüler ve şarj kontrol sistemleri kullanarak farklı batarya türleriyle şarj etmek teknik olarak mümkündür. NiCd veya NiMH bataryalar, lityum iyon bataryalara göre farklı şarj ve deşarj karakteristiklerine sahiptir. Bu nedenle, lityum iyon bataryaları farklı türde bir batarya ile şarj etmek için uygun dönüştürücüler ve şarj kontrol sistemleri kullanılması gerekmektedir.

Batarya teknolojilerindeki ilerlemeler ve yenilikler hem enerji yoğunluğunu arttırmakta hem de maliyetleri düşürmektedir. Son yıllarda, lityum iyon bataryaların fiyatları önemli ölçüde düşmüştür. Şekil 7.1'de, lityum iyon bataryaların yıllara göre maliyet aralığı gösterilmektedir (URL-6).



Şekil 7. 1. Lityum iyon batarya maliyetlerinin yıllara göre değişimi

2024 yılı itibarıyla, lityum iyon bataryaların maliyeti 56-70 \$/kWh aralığında olup, bu düşüş elektrikli araçların daha erişilebilir olmasına katkı sağlamaktadır (URL-6).

Tezin 6.4. bölümünde bir tırın üzerine yerleştirilen 36 adet güneş paneliyle yaz mevsiminin bir gününde yaklaşık 47 kWh enerji üretilebileceği hesaplanmıştır.

Üretilen bu enerji, kapasitesi 50 kWh olan bir lityum iyon bataryanın büyük bir kısmını doldurabilecek seviyededir. Bu kapasitedeki bir bataryanın fiyatı yaklaşık 2800-3500 USD aralığında değişkenlik göstermektedir.

7.6. Toplam Maliyet Analizi

Güneş Panelleri: 16.729,2 USD (36 adet)

MPPT Şarj Kontrol Cihazı: 1000-2500 USD

DC-DC Dönüştürücü: 500-2000 USD

Bağlantı ve Montaj Ekipmanları: 40 USD

Lityum İyon Batarya: 2800-3500 USD

Genel Toplam \approx 21.070 – 24.770 USD

7.7. Yıllık Enerji Üretim Analizi

Bölüm 6.4'te yapılan çalışma temel alınarak gerçekleştirilen bu analizde, tırın tavan yüzeyine yerleştirilen güneş panellerinin mevsimsel bazda ürettikleri enerji miktarları, yıllık toplam enerji üretimi değerlendirmesinde kullanılmıştır.

Tablo 7. 2. Dört mevsim için üretilen bir günlük enerji

Toplam Enerji (kWh/gün)	47,5 kWh (yaz mevsimi)
	31,5 kWh (ilkbahar mevsimi)
	30 kWh (sonbahar mevsimi)
	10,3 kWh (kış mevsimi)

Tablo 7. 3. Yıllık üretim değerleri

Toplam Enerji (kWh/yıl)	$47,5 \text{ kWh/gün} * 30 \text{ gün} * 3 \text{ ay} = 4275 \text{ kWh}$
	$31,5 * 30 \text{ gün} * 3 \text{ ay} = 2835 \text{ kWh}$
	$30 * 30 \text{ gün} * 3 \text{ ay} = 2700 \text{ kWh}$
	$10,3 * 30 \text{ gün} * 3 \text{ ay} = 927 \text{ kWh}$

$$\text{Toplam Enerji (kWh/yıl)} = 4275 + 2835 + 2700 + 927 = 10737$$

7.8. Yıllık Tasarruf ve Geri Dönüş Süresi

Elektrik Maliyeti: 0,132 \$/kWh (ortalama)

$$\text{Yıllık Tasarruf: } 10737 \text{ kWh/yıl} * 0,132 \text{ \$/kWh} = 1417,29 \text{ \$/yıl}$$

Toplam Yatırım Maliyeti (\$) = 21070 – 24770 (Toplam yatırım maliyeti ortalama 22920 \$ olarak kabul edilmiştir.)

$$\text{Amortisman süresi} = \frac{\text{Toplam Yatırım Maliyeti (\$)}}{\text{Yıllık Tasarruf (\$/yıl)}} \approx 16 \text{ yıl}$$

Yapılan analizler sonucunda, son yıllarda Türk lirasının ABD doları karşısında değer kaybetmesi sebebiyle, 36 adet güneş paneli kullanılarak oluşturulan bir fotovoltaik sistemin başlangıç maliyetinin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Yüksek döviz kuru, güneş paneli maliyetlerinin yanı sıra, bağlantı ve montaj ekipmanları, şarj kontrol cihazları, dönüştürücüler ve bataryaların fiyatlarının da artmasına neden olmaktadır. Bu durum yatırım maliyetini artırsa da uzun vadede enerji maliyetlerini düşürme ve çevresel sürdürülebilirliği artırma gibi önemli avantajlar yaratmaktadır.

Bu tez çalışmasında kurgulanan sistem, şehirlerarası otobüsler, minibüsler ve tırlar gibi büyük hacimli taşıtlar için tasarlanmıştır. Bu taşıtların tavan yüzey alanlarına maksimum sayıda güneş paneli yerleştirildiği varsayılmıştır, bu da sistemin toplam yatırım maliyetini artırmaktadır. Ancak, bu tür sistemler maddi imkânlar, ihtiyaçlar ve tercihler doğrultusunda ölçeklendirilebileceğinden, yatırım maliyetleri de orantılı olarak düşecektir. Böylelikle, sistem kısa süre içerisinde kendini amorti edebilecek ve taşıtlara yerleştirilen güneş panelleriyle farklı güç seviyelerinde enerji üretimi sağlanabilecektir. Bu durum, esnek ve ölçeklenebilir güneş enerjisi sistemlerinin uygulanabilirliğini göstermektedir. Güneş panellerinin verimli kullanımı, yıllık enerji tasarrufu ve yatırım geri dönüş süresi göz önüne alındığında hem ekonomik hem de çevresel açıdan faydalar sağlamaktadır. Ayrıca, güneş panellerinden üretilen enerjinin Lityum-iyon bataryalarda depolanması, taşınabilir enerji çözümleri sunarak enerji güvenliğini artırmakta ve enerji depolama teknolojilerinin gelişimiyle birlikte, güneş enerjisinin daha etkin kullanılmasına ve kesintisiz enerji arzına olanak tanımaktadır.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, seçilen kara taşıtlarının tavan yüzeyine güneş panelleri yerleştirilerek elektrik üretim potansiyelinin belirlenmesine yönelik yapılan değerlendirme, umut verici sonuçlar ortaya koymaktadır. Özellikle Türkiye gibi güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkelerde, bu tür yenilikçi uygulamaların enerji verimliliğine ve sürdürülebilirliğe katkısı büyüktür. Çalışmanın bulguları, güneş panellerinden mevsimsel ve coğrafi değişkenlere bağlı olarak farklı verimlilik düzeylerinde enerji üretilebileceğini göstermektedir. Özellikle yaz aylarında ve güneşlenme süresinin uzun olduğu bölgelerde, kara taşıtlarının tavan yüzeyine monte edilen güneş panellerinden kayda değer miktarda enerji üretilebilmektedir. Buna karşılık kış aylarında ve güneş ışınımının düşük olduğu dönemlerde enerji üretimi daha sınırlı olsa da güneş panellerinden hala önemli düzeyde enerji sağlanabildiği görülmektedir.

Taşıtların üzerine yerleştirilen güneş panellerinden üretilecek enerjinin potansiyelini hesaplamak amacıyla, günlük ve saatlik güneş ışınım verileri meteoroloji müdürlüğünden temin edilmiştir. Ancak, yapılan hesaplamalarda bulutluluk ve gölgelenme gibi durumlar dikkate alınmamıştır. Her saat için yapılan hesaplamalar, güneş panellerinin sürekli güneşe maruz kaldığı varsayılarak gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, gerçek dünyada güneş panellerinin performansı, hesaplamalarda öngörülen ideal koşullardan sapma gösterebilir. Gelecek çalışmalar için daha hassas ve gerçekçi enerji üretim tahminleri yapılabilmesi adına, bulutluluk, gölgelenme ve diğer çevresel faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir. Bu durum, sistemin ekonomik fizibilitesini ve pratik uygulanabilirliğini daha doğru bir şekilde değerlendirmeye yardımcı olacaktır.

Güneş panellerinin kara taşıtlarına entegrasyonu, enerji üretiminin yalnızca taşıtlar hareket halindeyken değil, aynı zamanda park halindeyken de mümkün kılmaktadır. Bu sayede, araçlar hareketsiz durumdayken de güneş enerjisinden verimli bir şekilde yararlanabilecektir. Bu durum, genel olarak önemli bir enerji kaynağı oluşturarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayabilir. Bu tez çalışması, belirli taşıtlar üzerine kurgusal bir çalışma sunmakta olup gelecek çalışmalarda güneş paneli sisteminin farklı taşıt türlerine uygulanabilirliği ve farklı şehirlerdeki enerji üretim potansiyeli üzerine hesaplamalar ve analizler de yapılabilir.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, ülkemizde kayıtlı binlerce araç bulunmaktadır. Bu geniş araç filosu, güneş panelleri ile donatıldığında kayda değer miktarda enerji üretim potansiyeli taşıyacağı anlaşılmaktadır. Devlet desteği ve teşvik programları ile bu dönüşümün hızlandırılması mümkündür. Devlet desteği kapsamında vergi indirimleri, sübvansiyonlar ve finansal teşvikler sağlanarak, araç sahiplerinin güneş paneli entegrasyonu konusunda bilinçlendirilmesi ve teşvik edilmesi sağlanabilir. Bu tür politikalar hem enerji arz güvenliğini artıracak hem de fosil yakıt tüketiminin azaltılmasına katkıda bulunacaktır.

Güneş panellerinin verimliliği, kullanılan fotovoltaik hücrelerin elektriksel özelliklerine, yerleştirildikleri konuma, güneş ışınımı miktarına, hava koşullarına ve montaj açısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Ayrıca, panel yüzeyinin temizliği, sıcaklık değişimleri ve gölgeleme gibi faktörler de verimliliği etkilemektedir. Bu bağlamda, esnek güneş panellerinin kullanımının tercih edilmesi, taşıtların aerodinamik yapısını bozmadan enerji üretimine olanak tanımakta ve bu sayede taşımacılık sektöründe enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar, taşımacılık sektöründe güneş enerjisinin kullanımının yaygınlaştırılması durumunda fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılabileceğini ortaya koymaktadır. Bu durum, aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamakta, karbon salınımını azaltarak iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir rol oynamaktadır. Enerji verimliliğini artırmak için, güneş panellerinin performansını optimize eden MPPT (Maximum Power Point Tracking) gibi teknolojilerin kullanılması büyük önem taşımaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmaların, güneş panellerinin taşımacılık sektöründeki uygulamalarını daha da geliştirecek yenilikçi çözümler sunması beklenmektedir. Bu bağlamda, güneş enerjisi teknolojilerinin daha geniş kitleler tarafından benimsenmesi ve kullanımının teşvik edilmesi, enerji politikalarının önemli bir parçası olmalıdır. Özellikle devlet teşvikleri ve düzenlemeler, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşmasında kritik bir rol oynamaktadır. Sonuç olarak, güneş enerjisinin kara taşıtlarında kullanımını, enerji maliyetlerini düşürmekte, çevresel etkileri minimize etmekte ve sürdürülebilir bir enerji geleceği için önemli bir adım teşkil etmektedir.

Bu tez çalışmasında, büyük hacimli taşıtlara yönelik gerçekleştirilen maliyet analizleri, güneş paneli entegrasyonunun ekonomik fizibilitesini ortaya koymaktadır.

Ancak farklı türdeki taşıtlar ve daha küçük sistemler için benzer analizler yapılarak, bu taşıtların enerji üretim potansiyeli ve maliyet analizi değerlendirilebilir. Özellikle otomobil, ticari araçlar ve trenler gibi farklı taşıt kategorileri için maliyet analizleri yapılabilir. Bu analizler, daha düşük ve yüksek maliyetli ve uygulanabilir sistemlerin geliştirilmesine yardımcı olabilir. Maliyet analizlerinde, daha düşük bütçeli sistemlerin kurulabilmesi için farklı güneş paneli ve bileşen seçenekleri incelenmelidir. Örneğin, daha ekonomik güneş panelleri ve batarya sistemleri kullanılarak maliyetlerin düşürülmesi mümkündür. Ayrıca, devlet teşvikleri ve sübvansiyonları da göz önünde bulundurarak, güneş paneli entegrasyon maliyetleri azaltılabilir. Bu tür desteklerin sağlanması, bireysel araç sahiplerinin güneş paneli sistemlerine yatırım yapmasını teşvik edebilir. Güneş panellerinin farklı taşıt türlerine entegrasyonu için kapsamlı maliyet analizleri gerçekleştirilmelidir. Bu analizlerde, her taşıt türü için kullanılacak güneş paneli sayısı, montaj maliyetleri, bakım masrafları ve beklenen enerji üretimi detaylı bir şekilde hesaplanmalıdır. Böylece, her taşıt türü için en uygun maliyetli çözümler belirlenebilir ve bu çözümler yaygınlaştırılabilir. Gelecek çalışmalarda, güneş panellerinin kara taşıtlarına entegrasyonu için maliyet analizleri genişletilebilir ve daha düşük bütçeli sistemlerin uygulanabilirliği araştırılabilir. Bu sayede, enerji verimliliği artırılarak çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlanacaktır.

Bu çalışmanın gerçek hayatta uygulanabilirliği düşünüldüğünde, taşıt yüzeyine entegre edilen güneş panelleri ile taşınabilir bataryalar şarj edilebilir. Bu sayede, şarj istasyonlarının bulunmadığı yerlerde bataryası tükenen elektrikli araçların şarj problemlerine geçici bir çözüm sunulabilir. Ayrıca, üretilen enerji taşıtların klima, ses ve aydınlatma gibi elektrikli sistemlerine ek güç kaynağı sağlayabilir. Dolayısıyla, bu enerjinin çeşitli sistemlerde kullanılabilmesi mümkündür.

Daha temiz ve sürdürülebilir bir dünya hedefi doğrultusunda, ülkemizin sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunan bir ülke olma amacını gözeterek, güneş enerjisinin çeşitli uygulama alanlarında yenilikçi çözümler ve bilimsel çalışmalar geliştirmesi dileğiyle.

KAYNAKLAR

- Ahmad, L., Khordehghah, N., Malinauskaite, J., Jouhara, H. (2020). Recent Advances and Applications of Solar Photovoltaics and Thermal Technologies. *Energy*, 207, 118254.
- Bahcall, J. N., Basu, S., Serenelli, A. M. (2001). Solar Models: Current Epoch and Time Dependences, Neutrinos, and Helioseismological Properties. *The Astrophysical Journal*, 555(2), 990.
- Bagher, A.M., Vahid, M.M.A., Mohsen, M. (2015). Types of Solar Cells and Application. *American Journal of Optics and Photonics*, 3(5), 94-113.
- Bora, Y. (2017). Elektrikli Araç Sistemlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,495337.
- Bruce, P., Scrosati, B., Tarascon, J. (2008). Nanomaterials for Rechargeable Lithium Batteries. *Angewandte Chemie International Edition*, 47(16), 2930-2946.
- Chan, By CC. (2007). The State of the Art of Electric, Hybrid and Fuel Cell Vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 95 (4), 704-718.
- Chang, W. Y. (2013). The State of Charge Estimating Methods for Battery: A Review. *ISRN Applied Mathematics*, 2013(1), 1-7.
- Çetin, M. S., Karakaya, B., Gençoğlu, M. (2021). Elektrikli Araçlar için Lityum İyon Bataryaların Modellenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 33(2), 755-763.
- Dinger, A., Martin, R., Mosquet, X., Rabl, M., Rizoulis, D., Russo, M., Sticher, G. (2010). Batteries for Electric Cars: Challenges, Opportunities, and the Outlook to 2020. *The Boston Consulting Group*.
- Fergus, J. W. (2010). Recent Developments in Cathode Materials for Lithium-Ion Batteries. *Journal of Power Sources*, 195(4), 939-954.
- Gandy, S. (2000). A Guide to the Range and Suitability of Electrical Energy Storage Systems for Various Applications and an Assessment of Possible Policy Effects, University of London.
- Girgin. M.H. (2011). Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralının Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 MW'lık Güneş Enerjisi Santrali için Enerji Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul, 333077.
- Hadjipaschalis, I., Poullikkas, A., Efthimiou, V. (2009). Overview of Current and Future Energy Storage Technologies for Electric Power Applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6-7), 1513-1522.

- Iqbal, M., Benmouna, A., Becherif, M., Mekhilef, S. (2023). Survey on Battery Technologies and Modeling Methods for Electric Vehicles. *MDPI: Batteries*, 9(3), 185.
- Jackson F. (2008). *Planning and Installing Photovoltaic Systems: A guide for installers, Architects and Engineers* (2rd ed.). London, England.
- Karami, N., Moubayed, N., Outbib, R. (2017). General Review and Classification of Different MPPT Techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68,1-18.
- Kantaroglu, F. (2010). Fotovoltaik Sistemler. *Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi*, 15(2), 28-34.
- Linden, D., Reddy, T. B. (2002). *Handbook of Batteries* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
- Moral, U., Erol, S. (2020). 18650 Lityum-İyon ve 6HR61 Nikel-Metal Hidrit Tekrar Şarj Edilebilir Pillerinin Elektrokimyasal Empedans Analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(1), 297-309.
- Muratoğlu, Y., Akkaya, A. (2015). Elektrikli Araç Teknolojisi ve Pil Yönetim Sistemi-İnceleme. *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, 458, 10-14.
- Müller, T., Rech, B., Schlatmann, R. (2018). Flexible Thin-film Solar Cells. *Advanced Electronic Materials*, 4(4), 1700634.
- Nitta, N., Wu, F., Lee, J. T., Yushin, G. (2015). Li-ion Battery Materials: Present and Future. *Materials Today*, 18(5), 252-264.
- Nelson, J. (2003). *The Physics of Solar Cells*. Imperial College Press, London UK.
- Özcan, Ö. F., Karadağ, T., Altuğ, M., Özgüven, Ö. F. (2021). Elektrikli Araçlarda Kullanılan Pil Kimyasallarının Özellikleri ve Üstün Yönlerinin Kıyaslanması Üzerine Bir Derleme Çalışması. *GU J Sci, Part A*, 8(2), 276-298.
- Sun, X., Li, Z., Wang, X., Li, C. (2020). Technology Development of Electric Vehicles: A Review. *Energies*, 13(1), 1-29.
- Sayın, A.A. (2011). Elektrikli Taşıt Araçlarında Kullanılan Lityum-İyon Bataryaların Modellenmesi ve Benzetimi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 307015.
- Scrosati, B., Garche, J. (2010). Lithium Batteries: Status, Prospects and Future. *Journal of Power Sources*, 195(9), 2419-2430.
- Sugianto, S. (2020). Comparative Analysis of Solar Cell Efficiency between Monocrystalline and Polycrystalline. *INTEK Jurnal Penelitian*, 7(2), 92-100.

- Sayın, S., Koç, İ. (2011). Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yaralanmada Kullanılan Fotovoltaik (PV) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimleri. *Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 89-106.
- Shaw, R. N., Walde, P., Ghosh, A. (2020). IOT Based MPPT for Performance Improvement of Solar PV Arrays Operating under Partial Shade Dispersion. *IEEE 9th Power India International Conference (PIICON)*, Sonapat, India, 28 February-1 March 2020.
- Tuğru, M. S. (2009). Atık Çinko-Karbon ve Alkali Pillerden Çinko ve Mangan Geri Kazanımı. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 244483.
- Ural, E.B. (2007). Fotovoltaik Enerji ve Taşıtlarda Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 201160.
- URL-1: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik/>, (Ziyaret Tarihi:17 Mart 2024).
- URL-2:<https://gepa.enerji.gov.tr/>, (Ziyaret Tarihi:8 Nisan 2024).
- URL-3: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Nisan-2024/>, (Ziyaret Tarihi: 4 Mayıs 2024).
- URL-4: <https://www.electricaltechnology.org/2021/07/mppt-solar-charge/>, (Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2024).
- URL-5: <http://www.solarpraxis.de/en/>, (Ziyaret Tarihi: 1 Haziran 2024).
- URL-6: <https://cleantechnica.com/2024/02/26/catl-byd-to-slash-battery-prices-by-50-in-2024-boom-evs-win/>, (Ziyaret Tarihi: 27 Mayıs 2024).
- Van den Bossche, P., Vergels, F., Van Mierlo, J., Matheys, J., Van Autenboer, W. (2006). SUBAT: An Assessment of Sustainable Battery Technology. *Journal of Power Sources*, 162(2), 913-919.
- Vidyanandan, K. V. (2019). Batteries for Electric Vehicles. *IEEE*.
- Venkateswari, R., Sreejith, S. (2019). Factors Influencing the Efficiency of Photovoltaic System. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 376-394.
- Wen, J., Zhao, D., Zhang, C. (2020). An Overview of Electricity Powered Vehicles: Lithium-ion Battery Energy Storage Density and Energy Conversion Efficiency. *Renewable Energy Reviews*, 162, 1629-1648.
- Wang, Y., Huang, H. Y. S. (2011). Comparison of Lithium-ion Battery Cathode Materials and the Internal Stress Development. In: *Conference Proceedings of International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Denver, Colorado, USA, 11-17 November 2011.

- Yılmaz, M. (2013). Güneş Takip Sistemi ile Güneş Enerjisinden Elektrik Elde Etme Yöntemleri ve Optimum Verimin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 341350.
- Yu H., Xie T., Paszczynski S., Wilamowski B.M. (2011). Advantages of Radial Basis Function Networks for Dynamic System Design. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*; 58 (12), 5438-5450.
- Yong, J. Y., Ramachandaramurthy, V. K., Tan, K. M., Mithulananthan, N. (2015). A Review on the State-of-the-Art Technologies of Electric Vehicle, its impacts and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 365-385.



KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Karabatak, B., Bilgin, M.Z. (2024). Kara Taşıtlarında Güneş Panelleri Kullanılarak Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi, *6.International Dicle Scientific Research and Innovation Congress*, 248, International Science and Art Research Center, Diyarbakır, 25-26 Mayıs 2024.



ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Giresun'da tamamladı. 2015 yılında girdiği Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2019 yılında Elektrik Elektronik Mühendisi olarak mezun oldu. 2020-2024 yılları arasında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2022 yılından beri Yeşilirmak Elektrik Dağıtım A.Ş.'de Tesis Kontrol Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

