

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENTSEL ALANDA SERA GAZI EMİSYONLARININ
AZALTILMASI İÇİN PİLOT BİR GÜNEŞ ENERJİ
SANTRALİ TASARIMI VE FİNANSAL ANALİZİ

Melis KUDAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enerji Teknolojileri Anabilim Dalı

Enerji Teknolojileri Programı

Danışman

Doç. Dr. Selin ÖZÇİRA ÖZKILIÇ

Mart, 2025

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENTSEL ALANDA SERA GAZI EMİSYONLARININ
AZALTILMASI İÇİN PİLOT BİR GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ
TASARIMI VE FİNANSAL ANALİZİ

Melis KUDAL tarafından hazırlanan tez çalışması 06.03.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Teknolojileri Anabilim Dalı, Enerji Teknolojileri Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Selin ÖZÇİRA ÖZKILIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Selin ÖZÇİRA ÖZKILIÇ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Kamuran Nur BEKİROĞLU, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ali AĞÇAL, Üye
Süleyman Demirel Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Selin ÖZÇİRA ÖZKILIÇ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Kentsel Alanda Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılması İçin Pilot Bir Güneş Enerji Santrali Tasarımı ve Finansal Analizi” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Melis KUDAL



Aileme
ve
sevdiklerime

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın tamamlanmasına bilgi birikim ve deneyimi ile destek veren, bu yolda ve amaçta bana rehberlik ederek, değerli öneri ve katkılarıyla beni destekleyen bu süreçte ortaya çıkan her türlü sorunun çözümü için emek veren sayın danışmanım Doç. Dr. Selin ÖZÇİRA ÖZKILIÇ’a derin teşekkürlerimi sunarım.

Aynı zamanda, tez çalışmamın değerlendirilmesi aşamasında görüşlerini paylaşan değerli hocalarıma da teşekkür etmek isterim.

Birlikte çalışmaktan keyif aldığım ve Çorlu Sürdürülebilir Enerji ve İklim Eylem Planı’nın hazırlanmasında emeği geçen İstanbul Enerji A.Ş. çalışanlarına, çalışmama sağladıkları katkı ve değer için içten teşekkür ederim.

Son olarak, ailem ve sevdiklerim başta olmak üzere desteklerini benden esirgemeyen herkese teşekkür ederim.

Melis KUDAL

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Çalışması.....	4
1.2 Tezin Amacı.....	13
1.3 Tezin Yapısı.....	14
2 KENTSEL ALANLARDA YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİMİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ VE PLANLAMASI	16
2.1 Sürdürülebilirlik Kavramı.....	16
2.2 Yenilenebilir Enerjinin Sürdürülebilirliği.....	17
2.3 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üretimi.....	18
2.4 Sera Gazı Emisyonları ve İklim Değişikliği.....	26
2.5 Kentsel Alanlarda Enerji.....	30
2.6 Sürdürülebilir Enerji Planları.....	37
3 ENERJİ ÜRETİMİNDE FOTOVOLTAİK SİSTEMLER VE MEVZUAT GEREKLİLİKLERİ	40
3.1 Yenilenebilir Enerji Üretimi İçin Mevzuat.....	40
3.1.1 Türkiye’de Lisanssız Güneş Enerji Santrali Resmi Süreçleri.....	44
3.2 Fotovoltaik Enerji Üretim Tesisi.....	47
3.2.1 Fotovoltaik Sistemler.....	48
3.2.2 Fotovoltaik Hücre ve Modeli.....	48
3.2.3 Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası.....	51
3.2.4 Fotovoltaik Sistemler ve Işınım Miktarı.....	53

4 KENTSEL ALAN İÇİN PİLOT GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ VE EMİSYON AZALTIMINA ETKİSİ	56
4.1 Güneş Enerji Santrali Proje Planı.....	56
4.2 Sera Gazı Azaltımında Güneş Enerji Santrali Örneği.....	60
4.2.1 Projenin Ana Ekipman Bilgileri	61
4.2.2 Projenin Boyutlandırması	68
4.2.3 Güneş Enerji Santralinin Enerji Üretim Simülasyonu.....	72
4.3 Pilot Güneş Enerji Santrali ile Önlenen Seragazı Miktarı	78
5 KENTE ENTEGRE PİLOT GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ İÇİN FİNANSAL ANALİZ	82
5.1 Analiz Yöntemleri.....	82
5.1.1 Geri Ödeme Süresi Yöntemi.....	82
5.1.2 NPV Yöntemi	83
5.1.3 IRR Yöntemi.....	83
5.2 Finansal Modelin Oluşturulması.....	83
6 SONUÇ	101
KAYNAKÇA	104
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	110

SİMGE LİSTESİ

Voc	Açık Devre Gerilimi
N ₂ O	Azotoksit
K	Boltzmann Sabiti
I _{sat}	Diyot Akımı
V _d	Diyot Gerilimi
I _L	Fotoakımı
GW	Giga Watt
G	Güneş Işını Gücü
HFC	Hidrofluorokarbon
I	Hücreden Çıkış Akımı
W/m ²	Işınım
CO ₂	Karbondiyoksit
CO ₂ e	Karbondiyoksit Eşdeğeri
T	Kelvin Cinsinden Sıcaklık
I _{sc}	Kısa Devre Akımı
kW	Kilowatt
kWe	Kilowatt Elektrik
kWp	Kilowatt-Peak
SF ₆	Kükürt Heksaflorürler
M _{pp}	Maksimum Güç Noktası
I _{mp}	Maksimum Güç Noktası Akımı
V _{mpp}	Maksimum Güç Noktası Gerilim
MPPT	Maksimum Güç Noktası İzleyicisi
P _{max}	Maksimum Güç Noktasındaki Panel Gücü
CH ₄	Metan
kWh/m ²	Metrekareye Düşen Güneş Işınımı
MTEP	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MtCO ₂	Milyon Ton Karbondiyoksit

MtCO ₂ e	Milyon Ton Karbondioksit Eşdeğeri
O ₃	Ozon
I _p	Paralel Kol Akımı
V _{oc} [^]	PV Panel Açık Devre Gerilimi
V _{mpp} [^]	PV Panel Maksimum Güç Noktası Gerilimi
W _p	PV Panel Nominal Gücü
β _{mpp}	PV Panel Sıcaklık Katsayısı (%/°C)
β _{oc}	PV Panel Sıcaklık Katsayısı (%/°C)
°C	Santrigrad Derece
R _s	Seri Direnç
I _o	Sızıntı Akımı
TWh	Telewatt Saat
%	Yüzde

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
AG	Alçak Gerilim
AM	Air Mass (Hava Kütlesi)
AYM	Avrupa Yeşil Mutabakatı
ÇED	Çevre Etki Değerlendirme
EDAŞ	Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
EİGM	Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
EÜAŞ	Elektrik Üretim A.Ş.
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPIAŞ	Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
FF	Fill Factor (Dolma Oranı)
GES	Güneş Enerji Santrali
GHG	Greenhouse Gas (Sera Gazı)
IEAP	Uluslararası Yerel Yönetim Sera Gazı Emisyonları Analiz Protokolü
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
IRR	Internal Rate of Return (İç Verimlilik Oranı)
LİHKAB	Lisanslı Harita Kadastro Mühendisleri ve Büroları
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MW	Megawatt
NPV	Net Present Value (Net Bugünkü Değer)
OG	Orta Gerilim
OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries (Petrol İhraç Eden Arap Ülkeleri Örgütü)
PFC	Perflorokarbon
PR	Performance Rate (Performans Oranı)
RES	Rüzgar Enerji Santrali

STC	Standard Test Conditions (Standart Test Koşulları)
SECAP	Sustainability Energy and Climate Action Plan (Sürdürülebilir İklim ve Enerji Eylem Planı)
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş
TL	Türk Lirası
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
SKA	Sistem Kullanım Anlaşması
YEKA	Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
YEPDİS	Yenilenebilir Enerji Projeleri Değerlendirme İzleme Sistemi



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	1990-2022 yılları arası elektrik üretiminde sera gazı emisyonları	27
Şekil 3.1	PV hücre yapısı	49
Şekil 3.2	PV hücre tek diyot eşdeğer devresi	49
Şekil 3.3	PV hücre eşdeğer devresi	50
Şekil 3.4	PV hücre I-V karakteristiği	52
Şekil 3.5	Türkiye ortalama global güneş radyasyonu dağılımı (kWh/m ² /gün).....	53
Şekil 3.6	1991-2020 aylık ortalama güneşlenme süresi (saat/gün).....	54
Şekil 3.7	Yıllık ortalama güneşlenme süresi (saat/gün).....	54
Şekil 3.8	Tekirdağ ortalama güneşlenme süresi (saat/ay).....	55
Şekil 4.1	Kurulum bölgesi yıllık ışınım grafiği.....	57
Şekil 4.2	PV panel teknik çizimi	62
Şekil 4.3	Farklı ışınım koşullarında PV panel I-V eğrisi grafiği.....	65
Şekil 4.4	Farklı sıcaklık koşullarında PV panel I-V eğrisi grafiği	65
Şekil 4.5	PV panel degradesyonu.....	66
Şekil 4.6	P1100 optimizör	68
Şekil 4.7	Çatı GES genel yerleşim örneği	71
Şekil 4.8	Güneş yörünge diyagramları	73
Şekil 4.9	İzo gölgeleme diyagramı	74
Şekil 4.10	GES kaynaklı enerji üretimi	75
Şekil 4.11	GES kayıp diyagramı	78
Şekil 4.12	ETKB bilgi formu	78
Şekil 5.1	25 yıllık kümülatif nakit akışı	91
Şekil 5.2	Baz ve GES kurulum senaryosunun NPV farkları	99

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	2023 Eylül-2024 Eylül elektrik kurulu gücü ve üretim miktarı.....	21
Tablo 2.2	Birincil enerji tüketiminde kaynakların payı	25
Tablo 2.3	Birincil enerji tüketiminde kaynaklar (MTEP).....	25
Tablo 2.4	Elektrik üretiminde kaynaklar (TWh).....	26
Tablo 2.5	Kentsel alanda yenilenebilir enerji santral planlaması	35
Tablo 2.6	Kentsel alanda yenilenebilir enerji santrallerinin planlama analizi	36
Tablo 3.1	Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlasına göre veriler	55
Tablo 4.1	SRP-550BMA-HV PV panel özellikleri.....	62
Tablo 4.2	SRP-550BMA-HV PV panel elektriksel özellikleri	63
Tablo 4.3	SE100K-EU-APAC solar inverter elektriksel verileri.....	67
Tablo 4.4	P1100 optimizör elektriksel verileri.....	67
Tablo 4.5	GES proje verileri	72
Tablo 4.6	GES kaynaklı üretim ve PR değerleri	76
Tablo 4.7	Elektrik şebekesi emisyon faktörleri.....	79
Tablo 4.8	Emisyon faktörleri.....	80
Tablo 5.1	Tesis üretim-tüketim profili	84
Tablo 5.2	Finansal model giriş verileri.....	85
Tablo 5.3	Finansal model nakit akışı.....	87
Tablo 5.4	Geri ödeme süresi.....	93
Tablo 5.5	Fark değerler	97
Tablo 5.6	Hesaplanan NPV	100

ÖZET

Kentsel Alanda Sera Gazı Emisyonlarının Azaltımı İçin Pilot Bir Güneş Enerji Santrali Tasarımı ve Finansal Analizi

Melis KUDAL

Enerji Teknolojileri Anabilim Dalı

Enerji Teknolojileri Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Selin ÖZÇİRA ÖZKILIÇ

Kentlerde hızla artan nüfus, enerji talebini yükseltmekte ve fosil yakıt kaynaklı elektrik üretimine bağlı sera gazı emisyonlarını kritik seviyelere ulaştırmaktadır. Bu olumsuz etkinin azaltılması, enerji üretim yöntemlerinde dönüşümü zorunlu kılmaktadır. Sürdürülebilir enerji üretimi, çevresel etkileri en aza indirerek mevcut ve gelecek nesillerin enerji ihtiyaçlarını karşılamayı hedeflemektedir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonu büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, kentsel alanlardaki sınırlı alanların değerlendirilmesine odaklanılarak kent dokusuna uyumlu yenilenebilir enerji çözümleri araştırılmış ve özellikle bina çatılarına entegre edilebilecek güneş enerji santrali projeleri incelenmiştir. Kent içi enerji dönüşümünü teşvik eden bu projeler, sera gazı emisyonlarını azaltmayı ve çevresel sürdürülebilirliği güçlendirmeyi

amaçlamaktadır. Aynı zamanda, tüketim noktalarında enerji üretimi yaparak şebeke üzerindeki kayıpların minimize edilmesine katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Çalışmada, Lisanssız Enerji Yönetmeliği kapsamında geliştirilen bir pilot GES projesi üzerinden bina çatılarının enerji üretimi açısından değerlendirilmesi yapılmıştır. Pilot proje kapsamında, üretilen temiz enerjinin şebekeden çekilen elektrik miktarını ne ölçüde azaltabileceği hesaplanmış ve önlenebilecek sera gazı emisyon miktarı tahmin edilmiştir. Finansal analizler, benzer projelere yatırım yapmayı planlayan karar vericilere rehberlik etmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak, bina çatılarına kurulacak GES projeleri ile kentsel alanlarda ek arazi kullanımı gerektirmeden temiz enerji üretimi gerçekleştirilebileceği ve bu sayede sera gazı emisyonlarının azaltılmasına katkı sağlanabileceği ortaya konmuştur. Çorlu örneği, bu yaklaşım kapsamında somut bir model olarak ele alınmış ve kentsel alanlarda yenilenebilir enerji kullanımının potansiyel faydalarını göstermeyi amaçlayan bir çalışma olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, enerji, yenilenebilir, güneş, kent

ABSTRACT

Design of a Pilot Solar Power Plant and Financial Analysis for Reducing Greenhouse Gas Emissions in Urban Areas

Melis KUDAL

Department of Energy Technologies

Master of Science

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Selin ÖZÇİRA ÖZKILIÇ

The rapid increase in urban population has led to a rise in energy demand, resulting in greenhouse gas emissions reaching critical levels due to fossil fuel-based electricity generation. Mitigating these negative effects necessitates a transformation in energy production methods. Sustainable energy generation aims to minimize environmental impacts while meeting the energy needs of both present and future generations. In this context, the integration of renewable energy sources into the grid is of great importance.

This study focuses on evaluating the limited available spaces in urban areas and explores renewable energy solutions compatible with urban infrastructure. Specifically, photovoltaic solar power plant projects that can be integrated into building rooftops have been analyzed. These projects aim to promote urban energy transformation by reducing greenhouse gas emissions and enhancing environmental sustainability. Additionally, they contribute to minimizing transmission losses by enabling energy generation at the point of consumption.

A pilot solar power plant project, developed under the Unlicensed Electricity Regulation, has been evaluated to assess the potential of building rooftops for energy production. The study quantifies the reduction in grid electricity consumption achieved through solar energy generation and estimates the potential decrease in greenhouse gas emissions. Furthermore, financial analyses have been conducted to provide guidance for decision-makers considering similar projects.

In conclusion, the implementation of rooftop solar power plant projects enables clean energy production in urban areas without requiring additional land use, contributing to the reduction of greenhouse gas emissions. The Corlu case study serves as a concrete model within this approach, demonstrating the potential benefits of renewable energy deployment in urban environments. This study presents a framework for sustainable energy planning, emphasizing the feasibility and advantages of integrating solar energy solutions into urban areas.

Keywords: Sustainability, energy, renewable, solar, urban

1 GİRİŞ

Kentsel alanlardaki nüfus artışı, hava, su ve toprak kirliliği gibi çevresel tahribatları tetiklerken enerji tüketiminde de artışa neden olmaktadır.

Enerji, tüm kaynaklardan bağımsız olarak, kalkınma için yadsınamaz bir olgudur. Bu çerçevede, enerji; ulaşım, endüstriyel ve ticari faaliyetler, bina ve altyapı inşası, su dağıtımı ve gıda üretimi gibi alanlar için önemli bir girdidir ve tedarikinde kesintinin yaşanmaması da kritik öneme sahiptir. Enerji girdisi fazla olan faaliyetler genellikle kentsel alanlarda veya kentsel alanlara yakın bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Kentsel alanlar, belirtilen bu faaliyetlerin gerçekleştirilebilmesi için, küresel enerjinin büyük bir kısmını tüketirken yüksek oranda sera gazı salımına sebep olmaktadır.

TÜİK 2021 yılı verilerine göre doğal ve yapay nedenlerden kaynaklı emisyonlarda bir önceki yıl baz alındığında %7,7 oranında yükselme görülerek toplam emisyon miktarı 564,4MtCO₂ seviyesine ulaşmıştır. Toplam kaydedilen oranın %71'lik payının enerji üretim ve tüketim faaliyetlerinin sonucunda ortaya çıkan sera gazı emisyonlarının oluşturduğu görülmüştür [1].

Bu veriler, Türkiye'nin sera gazı emisyonlarının artış eğiliminde olduğunu ve enerji sektörünün bu emisyonların önemli bir kaynağı olduğunu göstermektedir. Bu paralelde, Türkiye'nin enerji üretim ve tüketiminde daha sürdürülebilir ve düşük karbonlu yaklaşımlara yönelmesi gerekliliği bu tezin yapı taşlarından birini oluşturmaktadır.

İklim değişikliğinin önlenmesi gerektiği görüşü, yüksek oranda emisyonu sebep olan enerji sektöründe hızlı bir reforma işaret eder. Sera gazı salımlarının %75'nin enerji sektörü bazlı olduğu çıktısı değişim gerekliliğinin temelini oluşturmaktadır. Bu dönüşüm, hem çevresel sürdürülebilirlik hem de ekonomik kalkınma açısından

önemlidir. Bu nedenle, fosil yakıt tabanlı enerji üretiminden temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin hızlandırılması, iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması için kritik bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırımların ve enerji verimliliğinin artırılması gibi politikaların benimsenmesi gerekmektedir [2]. Tüm bu bilgilerin ışığında hazırlanan tez, enerji sektöründe meydana gelen emisyonların azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını savunmaktadır. Özellikle enerji tüketim yoğunluğunun yüksek olduğu kentsel alanlarda GES projelerinin desteklenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu yaklaşım, enerji sektöründeki reformların ve sürdürülebilir enerji kullanımının gerekliliğine dikkat çekmektedir. Kentsel alanlarda GES projelerinin yaygınlaştırılması, hem emisyonların azaltılmasına katkı sağlayacak hem de şehirlerin enerji ihtiyaçlarının çevre dostu bir şekilde karşılanmasını mümkün kılacaktır.

Yenilenebilir enerji dönüşümü için yapılan simülasyonlar, yenilenebilir enerji temelli enerji üretim santrallerinin sayısının artmasının büyük bir önem taşıdığını göstermektedir. Yenilenebilir kaynaklı enerji üretim yöntemlerinin kullanılmasının fosil kaynaklı enerji üretim yöntemlerinden çıkış sürecini hızlandıracak ve bu dönüşümle 2040 yılında GES kapasitelerinin 119GW seviyesine ve 1GW artış ile 2053 yılında 220GW seviyesine ulaşacağı tahmin edilmektedir [3]. Hazırlanan tez çalışması ile yoğun elektrik enerjisi tüketiminin olduğu kentsel alanlarda, yapı çatılarının GES kurulumları ile yenilenebilir enerji üretim santrallerine dönüştürülmesi desteklenmektedir. Bu yaklaşım, sera gazı emisyon miktarının azaltılmasını hedeflemektedir. Kentsel alanlardaki binaların çatılarının GES ile donatılması, hem yerel enerji üretimini artıracak hem de fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak çevreye verilen zararı minimize edecektir.

BM tarafından oluşturulmuş rapora göre, 2050 yılında dünya nüfusunun 9,7milyar kişiye ulaşması ve bunun üçte ikisinin kentlerde yaşaması beklenmektedir. Bugün %55'lik bir nüfus payına sahip olan kentlerin, 2050 yılında dünya nüfusunun %68'ine ev sahipliği yapacağı öngörüsü bulunmaktadır [4].

Kentsel alanlarda yaşanan bu gelişmeler ve Türkiye'nin 2021 yılında sera gazı emisyonları ile mücadele kapsamında imzaladığı Paris İklim Anlaşması, bu tez kapsamında sera gazılarının küresel çapta azaltımı için hazırlanması gerekli görülen kentsel alanlarda sürdürülebilir enerji planlarına dayanak oluşturmaktadır ve bu

doğrultuda ekonomik istikrarı tehdit edebilecek, siyasi baskı aracı olarak kullanılabilecek ve aynı zamanda bölgesel çatışmaların kaynağı olabilecek sınırlı kaynaklara sahip fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması için de destek sağlamaktadır.

Ayrıca bu tez, 2053 yılı için belirlenen net sıfır emisyon hedefinin sürdürülebilir bir enerji dönüşümünden geçtiği ve dönüşüm planının kentsel alanları da kapsamı gerektiği bakış açısı ile kentsel alanların, ekolojik ayak izini en aza indirecek şekilde, enerji üretiminin ve tüketiminin daha sürdürülebilir, kapsayıcı ve adil hale gelmesini desteklemektedir.

Tüketim noktasının enerji ihtiyacının karşılanmasının hedeflendiği çatı üzeri GES kurulumlarının bu tez çalışması kapsamında önemli bir yeri bulunmaktadır. Çatı GES kurulumlarında daha etkin bir planlama yapılabilmesi adına lisanssız enerji üretim yönetmeliğinde resmi süreçlerin iyileştirilmesi net sıfır 2053 hedefine giden yolda gözönünde bulundurulması gereken konulardandır. Kentsel alan planlamalarının yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji dönüşümüne uygun olarak tasarlanması enerji üretim sistemlerinin yaygınlaşmasını hızlandırarak enerji üretiminde verimliliği de artıracakı düşünülmektedir. Tüm bu olguların ışığında kentsel alanda konumlanmış ve geleneksel olarak sadece enerji tüketen binaların, enerji üretebilen sistemlere dönüştürülmesi kentsel alanlarda sürdürülebilir enerji üretiminin sağlanmasında önemli bir gündem oluşturmaktadır. Bu dönüşümde, binaların enerji üretme kapasitesi çatılar üzerinde değerlendirilmektedir. Enerji üretim potansiyeli bakımından Türkiye fotovoltaik enerji dönüşüm sistemlerinin kullanılması açısından önemli bir konumdadır. Bu noktada, kentsel alan içerisindeki sokakların güneşe göre konumu, binaların oluşturduğu kent dokusu, binaların tasarımı ve yerleşimi de güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi için kritik faktörler olarak yer almaktadır. Kentsel alanlara adapte edilmiş GES'ler sürdürülebilir enerjinin sağlanmasında önemli rol oynamaktadır.

Bu kapsamda Çorlu ilçesi için hazırlanmış olan sürdürülebilir enerji planı incelenmiştir. Kentsel sürdürülebilir enerji planı çerçevesinde aynı kentsel alan sınırları içerisinde konumlanmış yüksek elektrik enerjisi tüketimine karşılık yüksek oranda sera gazı emisyon salımına sebep olan bir sanayi tesisi seçilmiştir. Yüksek enerji tüketimi ve geniş çatı alanlarına sahip sanayi tesisleri bu tezde değinilen enerji dönüşüm planı için önemli alanları oluşturmaktadırlar. Örnek teşkil etmesi

açısından bir sanayi tesisi için lisanssız enerji üretim yönetmeliği kapsamında çatı üzeri GES kurulumu planlanarak tüketim noktasında üretim hedeflenmiş ve bu üretime karşılık önlenen sera gazı salımı miktarı hesaplanmıştır.

Yapılan tasarım, hesap ve analizlerle kentsel alanlarda çatı üzeri GES kurulumlarının, şebeke kaynaklı elektrik enerjisi kullanımından doğan sera gazı emisyonlarını azaltmada etkili bir çözüm sunduğu sonucu çıkarılmıştır. Yapılan finansal analiz ile ise GES projelerinin mevcut bina çatılarına entegrasyonunun ekonomik sürdürülebilirlik sağladığını göstermektedir.

Bu bağlamda, ilgili literatür çalışması Bölüm 1.1 ile verilmiştir.

1.1 Literatür Çalışması

Sürdürülebilir enerji kavramı ile ilgili daha önce birçok farklı araştırma yapılmıştır. Bu tez çalışmasında insan yoğun kentsel alanlar için sürdürülebilir enerji sistemlerinin adapte edilmesine odaklanılmıştır bu minvalde AYM ile açıklanan değerlere değinilmiştir. Sürdürülebilir enerji üretim sistemleri ile temiz enerji üretiminin sağlanması ve iklim değişikliği ile mücadelede yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ve önemine işaret edilmiştir. Bu tez kapsamında kentsel alanlarda fotovoltaik enerji dönüşümü ile sürdürülebilir enerji üretimi üzerinde durulmuştur.

Bu konularda yapılan çeşitli çalışmalar aşağıda sıralanmıştır.

Tabbi Wilberforce ve diğerlerine göre, enerji, akıllı şehir kavramının en kritik unsurlarından biridir. 20. yüzyıldaki nüfus artışıyla birlikte kentlerde yaşayanların sayısı da artmış ve 2050'de bu oranın dünya nüfusunun %68'ini bulacağı öngörülmektedir. Bu durum, kentlerdeki fosil yakıt talebinde artış ve dengesizlik yaratmaktadır. Çalışma, merkezi sistemlerden dağıtık sistemlere geçiş yaparak kentsel sürdürülebilirliği hedeflemektedir. Bu geçiş, entegre yenilenebilir enerji kaynaklarının artan kullanımıyla hızlanmaktadır. Ancak, kentsel enerji mikro-simülasyonlarının veri yoğunluğu ve mikro-iklim modellemesinin karmaşıklığı nedeniyle bu simülasyonlar pratik değildir. Basitleştirilmiş modellerin geliştirilmesi ve doğrulanması için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Çalışma, bu gelişen modellerin, sürdürülebilir ve enerji verimli kentsel alanların oluşturulmasına katkı sağlayacağını vurgulamaktadır [5]. Bu tez çalışmasında,

Çorlu için hazırlanan sürdürülebilir enerji planı incelenmiş ve pilot olarak tasarlanan GES projesiyle, kent içinde şebekeden sağlanan elektrik enerjisinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının ne kadar azaltılabileceği hesaplanmıştır.

Kaiwei Liu ve Ziyuan Pang' a göre sürdürülebilir kentsel enerji sistemlerinin günlük çevresel sonuçlarını anlamak, esnek politikaların ve etkili karar alma süreçlerinin geliştirilmesi için hayati öneme sahiptir. Enerji seçimlerinin sonuçları hava kalitesi, iklim desenleri ve genel ekolojik sağlık üzerinde etkisi olmaktadır. Yapılan çalışma ile politika yenilikleri, karar alma stratejileri ve günlük çevresel etkiler arasındaki ince ilişkilere odaklanarak, olumsuz etkileri azaltma ve sürdürülebilirliği teşvik etme yolları araştırılmıştır. Politika müdahalelerinin ve ileri düzeyde karar alma stratejilerinin sürdürülebilir kentsel enerji sistemlerinin gelişiminde önemli bir yeri olduğuna değinilmiştir. Önerilen çok katmanlı kare matris optimizasyon modeli ile dağıtık enerji üretimi ve yenilenebilir kaynakları için toplam işletme maliyetinin minimize edildiği gösterilmiştir. Enerji sürdürülebilirliği alanında içgörüler ve metodolojiler sunarak, çevre dostu kentsel enerji çözümlerinin teşvik edilmesi gerektiği sonucu vurgulanmıştır [6]. Bu tezde düşük ,şletme ve bakım maliyetine sahip GES kullanımına odaklanarak GES projelerinin sürdürülebilir enerji planlarına eklenmesi amaçlanmaktadır.

Mehdi HAQQI ve diğerlerine göre, elektrik enerjisini daha sürdürülebilir hale getirmenin yolu; güneş veya rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji üretim teknolojilerini kullanmak, binaların ve elektrikli cihazların enerji verimliliğini artırmak, akıllı şebekeleri kullanarak elektrik dağıtımını optimize etmek ve sürdürülebilir teknolojilerin benimsenmesini teşvik etmek için politika ve programları uygulamak olarak sıralanmıştır. Enerji sorununu sürdürülebilir kalkınma hedefleri ile bağdaştırma çabaları, yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişimine yol açtığına değinilmiştir. Bir yandan fosil enerji kaynaklarının kıtlığından, diğer yandan enerji faturasının ağırlığından muzdarip olduğunun altı çizilmiştir. Hazırlanan bu tez aracılığıyla, bir binanın enerji otonomisini sağlayan GES örneği sunulmuştur. Sonuç olarak, yenilenebilir enerjilerin sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunma açısından önemi vurgulanmış ve gelecek vadettiği belirtilmiştir [7].

Anil Shirgire ve arkadaşlarının kentsel alan olarak belirlenen dört metropol üzerinde yaptıkları araştırmada bu alanlar içerisinde yer alan yenilenebilir enerji

santrallerinin yarattığı ekolojik etkileri araştırılması amaçlanmış ve çevresel yönden olumlu etkileri gözlemlenmiştir. Bu olumlu etkiler çerçevesinde kentsel ortamlarda sürdürülebilir enerji gelişiminin teşvik edilmesinin önemli sonuçlar doğuracağı açıklanmıştır [8]. Bu tez kapsamında, Lisanssız Enerji Üretim Yönetmeliği çerçevesinde, Çorlu'da bir sanayi tesisinin çatısına entegre edilebilecek GES projesi örnek çalışma olarak sunulmuştur. Çalışma, bu büyüklükte bir GES projesi ile önlenebilecek sera gazı emisyon miktarını hesaplamayı amaçlamıştır.

Alessandra Colocci ve diğerlerine göre yerel iklim planlamasının teşvik edilmesinde özellikle bölgesel stratejilerin, iklimle ilgili hedeflere ulaşmasında SECAP çalışmalarının önemli bir yere sahip olduğu belirtilmiştir. SECAP'ın sera gazı azaltma hedefi, bölgesel stratejilere göre önemli ölçüde daha yüksek olduğu vurgulanmıştır. Bununla birlikte bölgesel ölçekte sürdürülebilir kalkınmaya geçişi yönlendirmeyi amaçlayan bir strateji savunulmuştur [9]. Bu tezde, küresel iklim değişikliğinin önüne geçebilmek için her ölçekte sürdürülebilir enerji planlarının oluşturulması gerektiği vurgulanmıştır. Bu noktada enerji kullanım yoğunluğu yüksek olan kentsel alanların kritik bölgeler olduğu düşüncesiyle kentsel alan ölçeğinde enerji reformları desteklenmiştir.

Yesaswini Chilukuri ve Diğerleri tarafından yapılan çalışma, enerji sektöründeki değerlendirmeye göre, üretilen her kWh enerjinin yaşam döngüsü temelinde 9 ile 1000gCO₂ eşdeğeri arasında sera gazı emisyonu yaydığını ortaya koymaktadır. Çalışma, Hindistan gibi gelişmekte olan ülkelerin, enerji üretimi için yenilenebilir enerji kullanımını artırma konusunda attığı önemli adımları ve bu durumun ekoloji üzerindeki ilerici etkilerini tartışmaktadır. Çalışmaya göre 104.9GW'lık yenilenebilir enerji kaynağının enerji üretiminde kullanımı ile sera gazı emisyonlarında %16'lık bir düşüş ön görülmektedir [10]. Bu tez çalışmasında, çatı kurulumu olarak planlanan pilot GES projesinin üreteceği elektrik enerjisinin kapsam-2 emisyonlarını ne kadar azaltabileceği açıklanmıştır. Çorlu İlçesi için güneş enerjisinin kullanımıyla, PV teknolojisiyle elde edilebilecek potansiyel temiz enerji üretimi ve bu üretimle engellenen CO₂ salımı hesaplanmıştır.

Alireza Attarhay Tehrani ve Diğerleri, gelecekte güneş enerjisi odaklı şehir planlamalarının yapılmasına olanak sağlaması açısından Yapay Sinir Ağı modeli kullanarak güneş ışınlamını tahmin eden bir model üzerine çalışmıştır. Yapılan

tahminler ile binaların, kamusal alanların ve çeşitli kentsel altyapıların güneş enerjisi kullanımını optimize etmek için kentsel tasarımları iyileştirmeyi amaçlamıştır. Yapılan çalışmalar özellikle, bina yüksekliklerinin, kentsel güneş ışınlarını etkileyen kritik bağımsız bir değişken olduğunu göstermiştir. Kentsel planlamaya entegre edilecek güneş enerjisinden enerji üretim teknolojilerinin kullanımı kapsamında bina yüksekliklerine dikkat edilmesi gerekliliğine ulaşılmıştır [11].

Ayşe Canalp ve Ayşe Bilgen Aksoy GES kurulum alanı olarak seçilen hastane için çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma kapsamında seçilen hastaneye ait çatı yenilenebilir enerji kurulum alanı olarak değerlendirilmiştir. Proje ile 1.378.310KWh enerji üretimi öngörülmüştür. Çalışma çıktısı olarak, binalarda çatı GES kurulmasının sürdürülebilir çevre ve enerji yönetimine katkı sağlamasının yanında ekonomik olarak fayda sağlayacağı da öne sürülmüştür [12].

Cihan Karaman, çalışmasında GES kurulumu ile, fabrikaların gündüz saatlerini kapsayan 6:00 ile 17:00 saatleri arasındaki zaman aralığında tüketimlerini yönetebildikleri durumda, en karlı yatırımın gerçekleştirilebileceği üzerinde durmuştur. Çalışma yapılan GES projesi güç değeri 2,500kWe/3,001kWp olarak tasarlanmıştır. Tüketimin gündüz saatlerinde yönetilebilmesi durumunda NPVnin 27.133.414.968TL, IRR'ın %92.69 ve yatırım getirisinin %64.03 olacağını belirtmektedir. Geri ödeme süresi ise bu senaryoda 3,1 yıl ve LCOE 2,44TL olarak hesaplanmıştır. Fabrikaların tüketimlerini yönetebilir ve doğru besleme tarifesini seçebilirlerse, 25 yıllık GES ömüründe daha fazla kazanç elde edilebileceği sonucuna ulaşmıştır. Güneş enerjisinin üretildiği anda tüketilmesinin en karlı yol olduğu açıklanmıştır [13]. Bu tez çalışmasında sunulan örnek projenin tasarımı üretilen elektrik enerjisinin dağıtım hattına verilmeden tüketim noktasında kullanılacak şekilde yapılmıştır. Bu şekilde dağıtım hattı kayıpları engellenerek enerji üretiminde verimlilik artışı amaçlanmıştır.

Engin Ay ve Nihat Pamuk, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Farabi yerleşkesindeki binaların elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak amacıyla sürdürülebilir enerji kaynaklarından güneş seçilerek güneş enerjisi tesisi kurulabilecek binalar incelenmiş ve 14(ondört) bina grubu uygun olarak belirlenmiştir. Toplamda 1.917,44kWp kurulu güç elde edilmiş buna karşılık 1.105.737 kg CO₂ emisyonunun engelleneceği ve 2.354.885 kWh elektrik enerjisi

üretilebileceği öngörülmüştür. 2023 yılı piyasa fiyatları dikkate alındığında, toplam GES ilk yatırım maliyetinin yaklaşık 1.917.440\$ + KDV olacağı hesaplanmıştır. Tüketim fiyatı üzerinden değerlendirildiğinde, yıllık toplam elde edilebilecek gelirin yaklaşık 427.411,63\$ olacağı hesaplanmıştır. Işınım potansiyeli düşük olan Zonguldak ilinde tasarlanan projenin elde edilebilecek gelir üzerinden amortismanı hesaplandığında 4,49 yıl gibi kısa bir sürede kendini amorti sonucuna ulaşmıştır [14].

Betül Ersöz ve Halil İbrahim Bülbül yaptıkları çalışmada atmosferde sera gazlarının sebep olduğu etkiyi azaltmanın oldukça güç olduğunu belirterek buna karşılık küresel iklim krizi ve ekolojik dengeyi sağlamak için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını amaçlamıştır [15]. Bu tez çalışmasında yenilenebilir enerji kaynakları desteklenerek GES kurulumu sera gazı emisyonlarının azaltılmasında yol olarak gösterilmiştir.

M.M. Akrofi ve M. Okitasari'ye göre, kentlerin mekansal yapısı, enerji tüketimini doğrudan etkilerken enerji kaynaklarının doğası ve dağılımı da insan faaliyetlerinin dağılımını etkiler. Bu çalışma ile kentsel formun, enerji tüketimini azaltmak ve termal konforu artırmak için doğal çevre ile uyum içerisinde tasarlanması gerektiği görülmüştür. Bu uyumu yakalayabilmek için doğal ışık ve güneş enerjisinin binaları aydınlatmak ve ısıtmak için doğrudan kullanıldığı bina ve mahalle tasarımları öne çıkmaktadır. Bu yaklaşım maliyet etkinliği ile beraber fosil yakıt kullanımını da azaltacaktır. Enerji konusundaki tartışmalar, son zamanlarda enerji tüketiminin yanında enerji üretimine de odaklanmıştır ve dağıtık üretim çerçevesinde yoğunlaşmıştır. Çalışmaya göre enerji geçişinin hızlandırılmasından kaynaklı olarak, mekansal/şehirselleme planlama ile yenilenebilir enerji santrallerinin yapı ortamına entegrasyonunu sağlamak için en etkin modelin bulunması ve uygulanması konusunda araştırma sayılarında artış görülmüştür. Bu bağlamda, PV teknolojileri artık yalnızca bağımsız bir teknoloji olmak yerine, binalara mimari olarak entegre edilebilen bir yapı malzemesi haline gelmiştir. Bu tür entegrasyonları mümkün kılmak için önemli çabalar harcanmış ve bu çabalar, Bina Entegre Güneş Fotovoltaikleri gibi yeni terimlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Şu anda ana endişe konusu, güneş enerjisi entegrasyonunu kentsel ölçekte veya şehir düzeyinde nasıl gerçekleştirileceğidir. Bu gerçekleşme sürecini ifade etmek için Net-Sıfır Enerji Mahalleler ve Enerji Pozitif Bölgeler gibi terimler ortaya çıkmıştır. mekansal

planlamaların başlangıcında PV teknolojilerinin plana dahil edilmemesinden kaynaklı olarak tatmin edici sonuçlar alınamamaktadır. Bu durum, PV kaynaklı enerji üretim sistemlerinin kentsel planlamaya dahil edilmesi açısından yeni çalışma alanları doğurmuştur ve güneşli kentsel planlar kavramının gündeme gelmesini sağlamıştır. Güneşli kentsel planlama, kentsel bağlamdaki bir dizi konuyu kapsayan çapraz sektörel bir kavramdır ve kentsel yönetim ve şehir yönetimi için birçok sonuç doğurur. Çalışma kapsamında yapılan analizler coğrafi bölünme, sosyo-teknik boşluk ve kavramın teorik temelleri gibi planlama konusundaki 3 ana konuda eksikliklerin olduğunu gündeme getirmiştir. Bu boşluklar, şehirlerde düşük karbonlu geçişin teşvik edilmesi için güneşin kentsel planlamaya entegrasyonunu güçlendirmeye yönelik gelecek araştırmalar için önemlidir [16]. Bu tez çalışmasında lisanssız enerji üretim yönetmeliği kapsamında kurumları desteklenen GES projelerinin kentsel alanlara entegrasyonu için yapılması beklenen mevzuatsal iyileştirmeler açıklanmıştır. Bu iyileştirmeler ile kentsel alanlarda lisanssız enerji üretim santrallerinin yaygınlaştırılması amaçlanmıştır.

Quan Xiao ve diğerlerine göre, bölgesel dağıtık bir enerji sisteminin kurulabilmesi için akıllı şebekelere dayalı çoklu enerji tedarigine imkan veren bir enerji ağı oluşturulması amaçlanmaktadır. Gelecekte kompakt alanların inşası ve eski kentsel alanların yenilenmesi sürecinde, dağıtık enerji sistemi, enerji kullanım verimliliğini maksimize etmek, ekolojik şehrin gelişimini ve ekonomi, çevre ve toplumun uyumlu ve düzenli gelişimini teşvik etmek için bütünsel bir planlama hedefi ve görevi olarak görülmelidir. Kentselleşme sürecinde, ekonomik kalkınma ile çevresel koruma arasındaki çelişki giderek daha belirgin hale gelmektedir. Çalışmaya göre, kentsel ekolojik tasarım, mevcut kentsel planlama ve tasarımın önemli bir yönüdür ve erken gelişme aşamasında olup deneyim ve kurumsal desteğe ihtiyaç duymaktadır [17].

Gülay Küçük ve Betül Yüce Dural'ın çalışmasına göre Avrupa'da ve uluslararası düzeyde yeşil dönüşüm AYM'nin etkisi ile hızlanacaktır. Çalışma, AB'nin 2050 yılında karbon nötr olma hedefi dünyanın iklim kriziyle mücadelesi için büyük bir fırsat oluşturacağına ve küresel değişiklikleri sağlayacağına değinmiştir. Yeşil ekonominin ve Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın iklim kriziyle mücadelede etkili olabileceği, ancak mevcut hedeflerin artırılması gerektiği sonucu vurgulanmıştır

[18]. Bu tez, Yeşil Mutabakat kapsamında iklim kriziyle mücadele ve enerjiye erişim konularında yenilenebilir enerji santrallerinin desteklenmesini amaçlanmıştır.

Arnulf Jäger-Waldau ve Diğerleri'ne göre AB'de belediye ve bölgesel düzeyde inşaa edilecek yeni binalara yenilenebilir enerji sistemlerinin entegrasyonunun zorunlu hale getirilmesi için bir tartışmanın var olduğu açıklanmıştır. Binalarda ön görülen enerji dönüşümü, çatı kurulumu GES için olan talebi artırmıştır. Çalışma verilerine istinaden Avrupa Merkez Bankası'na göre, AB'de 2016'da yaklaşık 1.6milyon yeni konut inşa edilmiştir. Ortalama olarak her binada 4kW'lık bir GES kurulumu varsayıldığında, yılda 6GWp'den fazla kurulum öngörülmektedir. 2030 yılına kadar ise kurulu gücün 60GWp seviyesine ulaşacağı düşünülmektedir [19]. Bu tez kapsamında, enerji tüketimi yüksek bir sanayi tesisi için vaka çalışması yapılmıştır. Sanayi tesisinin seçilmesinde etkili olan faktör, çatı alanının kurulum için uygunluğudur. Konut tipi binalar için mevzuatla ilgili kolaylıkların sağlanması beklenmektedir. Sanayi tesislerinde yapılacak dönüşümle, kentsel sera gazı emisyonlarının azaltılması hedeflenmiştir.

Adnan Çalık ve Önder Emre tarafından yapılan çalışmada, Isparta ili merkez ilçesinde bir kamu binası çatısı için tasarlanan 10kW gücündeki GES projesinin ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma için PV*SOL simülasyon programından faydalanılmıştır. Kurulumu yapılan GES için tüketim noktasının t elektrik alış fiyatları gözönünde bulundurulduğunda yıllık kazancın 45.690 TL olacağı belirlenmiştir. Elde edilen kazanç ve ilk yatırım maliyeti değerlendirildiğinde enerji santralının geri dönüş süresi 4,9 yıl olarak hesaplanmıştır. Ulusal şebekenin elektrik satış fiyatları santral ömrü olarak düşünülen 25 (yirmibeş) yıllık süreç içinde artabileceğinden, kazanç miktarının TL bazında her yıl artacağı ve bu nedenle amortisman süresinin daha kısa olacağı öngörülmektedir [20]. Bu tez çalışması kapsamında her ölçekte kurulacak olan çatı GES'lerin enerji üretimine katkı sağlayacağı gösterilmiştir. Örnek çalışma olarak sunulacak sanayi tesis çatısı için planlanan GES projesi için enerji üretim hesabı PvSyt simülasyon program ile gerçekleştirilmiştir. Yatırımın geri dönüş hesabında tesisin bağlı olduğu abone grubuna ait elektrik enerjisi kullanım bedeli baz alınmıştır. Bu çalışmalar ile kentsel alanda gerçekleştirilmesi savunulan sürdürülebilir enerji planlarına katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Corrado Schenone ve Ilaria Delponte çalışmalarında kentsel alanlarda yenilenebilir kaynakların planlanması ve kullanımının artılarını ve eksilerini raporlamışlardır. Böylece bazı ilgili kritik noktaları ve gelecek araştırma çabaları için olası yönlendirmeleri vurgulamayı amaçlamışlardır. Belediye Başkanları Anlaşması gerekliliklerini yerine getirmeyi hedefleyen sürdürülebilir enerji eylem planlarının sonuçları incelenerek genel olarak belirtilen eylemlerin ne kadar etkili olduğu konusuna değinilmiştir ve dolayısıyla çevresel enerji politikalarını daha etkili hale getirmek için hangi kararların alınması gerektiği açıklanmaya çalışılmıştır. Bu makale ile yakın geçmişin bir çalışması yapılmış ve mevcut stratejilerde daha iyi tanımlanması gereken noktaların açıklanması hedeflenmiştir [21]. Bu tez kapsamında etkili çevresel enerji politikalarının oluşturulması desteklenerek sürdürülebilir enerji planları üzerinde durulmaktadır. Bu doğrultuda yenilenebilir enerji santral kurulumlarının yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır.

Melike Yalılı Kılıç ve diğerlerinin yaptığı çalışmaya istinaden fotovoltaik panellerin çatılarda kullanımına sıkça rastlanmaktadır ve bu durumun bazı avantajları bulunmaktadır. Örneğin, işletme kolaylığı açısından çatı üzerine montajı yapılan paneller yağmur sularıyla temizlenme ihtimali daha yüksektir bunun yanında çatıların kurulum alanı olarak seçilmesi inşaat aşamasında panellerin açılarının kolay bir şekilde ayarlanabilir olmasıdır. Çatı üzeri santral planlaması yapılırken, kurulum yapılacak kentin güneşlenme süreleri, güneş enerjisi potansiyelleri ve bağıl nem değerlerinin tasarım aşamasında değerlendirilmesidir [22]. Bu tez çalışması, GES'in çatı kurulumu sırasındaki avantajlarını değerlendirerek bir uygulama analizi sunmuştur. Proje tasarım aşamasında, kurulum alanı olan Çorlu ilçesinin meteorolojik verileri incelenmiş ve bu verilerle yenilenebilir enerji kaynaklı enerji üretim değerinin hesaplanması hedeflenmiştir.

Mehmet Yalılı lisanslı ve şebekeye bağlı olarak tasarlanan 1MW gücündeki GES için finansal analiz gerçekleştirmiş. Bu analizinde yatırımın tamamının özsermaye ile gerçekleştirilmesi senaryosu ve yatırımın tamamının kredi ile gerçekleştirilmesi senaryosu finansal olarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, yatırımın öz sermaye ile yapılması durumunda NPVnin pozitif, IRR'ın %22.35 ve fayda/masraf oranının 1.409 olduğu belirlenmiş, bu koşullarda yatırımın karlı olacağı tespit edilmiştir. Ancak, yatırım maliyetlerinin kredi ile karşılanması durumunda %10 kar getirisi beklentisi altında yatırımın kabul edilemez olduğu ve santralin ekonomik ömrü

boyunca kazançların maliyetleri karşılamayacağı sonucuna varılmıştır. GES yatırımının geri ödeme süresi öz sermaye ile karşılanması durumunda 4 yıl, kredi ile karşılanması durumunda ise 9 yıl olarak hesaplanmıştır [23].

B. Hande Gürsoy Haksevenler ve Diğerleri, tarafından hazırlanan çalışmada bir belediye bazında sera gazı emisyonları değerlendirilmiş ve kapsam-1 uyarınca hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamalarda uluslararası ölçekte yol gösterici olan ve IPCC kılavuzları, GHG Protokolü, ISO 14064 GHG Standart serisi ve GRI Kamu Sektörü Kurumları Eki gibi kaynakların esas alındığı IEAP kullanılmıştır. ISO 14064 GHG Standart serisinden yöntemlerin belirlenmesinde, GHG Protokolünden hesaplamaların gerçekleştirilmesinde ve IPCC kılavuzlarından verinin toplanması, hesaplanması, raporlanması ve referans değer tablolarının kullanılmasında faydalanılmıştır [24]. Bu tezde, Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Emisyon Faktörü Bilgi Formu kullanılarak, sera gazı emisyonlarının yenilenebilir enerji santralleriyle engellenebileceği gösterilmeye çalışılmaktadır.

Zeynep Atalay Ayran ve Yılmaz Aslan tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Şehzade Park GES'de A firmasına ait CdTe ince film FV paneller kullanılarak GES projesi gerçekleştirilmiş ve PVSyst simülasyon programı enerji üretiminin tahminlenmesi için kullanılmıştır. GES yatırım geri dönüş süresi 6 (altı) yıl olarak hesaplanmıştır. FV panel teknolojisindeki gelişmelerin santrallerin kurulum maliyetlerini düşüreceğinden dolayı geri dönüş süresini kısaltacağı belirtilmiştir. Çalışmada kullanılan PVSyst simülasyon programı ve SOLARGIS meteorolojik verilerinin gerçeğe yakın sonuçlar sağladığı aktarılmıştır [25]. Bu tez çalışmasında PVSyst simülasyon programı ve Meteoronorm meteorolojik veri tabanı kullanılarak GES kaynaklı enerji üretim değerinin hesaplanması sağlanmıştır.

Mehdi Bagheria ve diğerlerine göre sürdürülebilir kentlerin oluşturulmasında hibrid güneş-rüzgar-biyokütle enerji sistemleri gelecek vadetmektedir. Yenilenebilir enerjiden üretilecek enerji planlamasında optimal bir tasarımın sağlanması önemlidir. Mahalle ölçeğinde kentsel alanlar için en uygun hibrid yenilenebilir çözümleri belirlenmelidir [26].

Molin Huo ve Diğerlerine göre alan olarak seçilen endüstri parkında fotovoltaik enerji üretiminin mevcut araç kömür tüketiminin büyük bir kısmından tasarruf edilmesine katkı sağlayacağı ve yerel karbon emisyonlarını azaltacağı

açıklanmıştır. Fotovoltaik enerji kullanımının bölgesel enerji ekonomisinde sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlayacağı belirtilmiştir. Temiz enerji girişinin sağlanması, bölgesel enerji verimliliği ve çevresel optimizasyon için önemli olduğu vurgulanmıştır [27]. Bu tez ile gerçekleştirilen pilot tasarım ile tesisin elektrik tüketimini karşılayacak şekilde GES kurulumu amaçlanmıştır. Kurulum tamamlandığında şebekeden doğrudan çekilen enerji miktarında azalma olacağı gösterilerek elektrik enerjisi için harcanacak finansmanda düşme olacağı öngörülmüştür.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez, bölgesel düzeyde artış gösteren ve nihayetinde küresel bir sorun haline gelen sera gazı emisyonlarının, sanayi devrimi öncesi seviyelere indirilebilmesi amacıyla, yenilenebilir enerjiye geçişin sağlanmasını hedeflemektedir. Bu hedef doğrultusunda, yoğun enerji tüketimine sahip kentsel alanlar için uygun yenilenebilir enerji modellerinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bölgesel düzeyde değerlendirilen bu modellerin, kentsel alanların enerji ihtiyaçlarını karşılamada etkin ve sürdürülebilir çözümler sunması hedeflenmektedir. Bu doğrultuda, sürdürülebilir enerji planlarının oluşturulması ve yasal düzenlemelerin iyileştirilmesi, projenin başarılı bir şekilde hayata geçirilmesi için kritik önem taşımaktadır. Bu kapsamda, arazi bakımından kısıtlı olan ve yoğun enerji tüketimi nedeniyle yüksek sera gazı salımına sahip kentsel alanlar için çatı üstü GES projelerinin yaygınlaştırılması ve çatı üstü GES projeleri ile mevcut bina altyapısının kullanılarak ek arazi ihtiyacını ortadan kaldırmayı ve enerji üretimini tüketim noktasında gerçekleştirmeyi amaçlamaktadır. Yüksek emisyonlu kentsel alanlar için çatı üstü GES projeleri yaygınlaştırılarak, ek arazi ihtiyacı olmadan enerji üretiminin tüketim noktasında yapılması ve mevcut arazilerin sürdürülebilirliği hedeflenmiştir.

Bu tez kapsamında sunulan tasarım, kentsel alanlarda arazi sıkıntısı nedeniyle yeni enerji altyapılarının kurulmasının zorluğuna bir çözüm sunarak, mevcut binaların çatılarına entegre edilen güneş enerji sistemleriyle enerji üretimini mümkün kılmayı hedeflemektedir.

Bu tez, Çorlu ilçesinde gerçekleştirilen pilot çalışma üzerinden, diğer kentsel alanlarda da uygulanabilir benzer modellerin geliştirilmesine öncülük etmeyi ve

yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını yaygınlaştırmayı amaçlamaktadır. Çalışma, kentsel dönüşüm süreçlerine yenilenebilir enerji entegrasyonunun sürdürülebilir şehirler yaratma yolunda önemli bir adım olduğunu vurgulayarak, tüketim noktasına entegre edilecek GES projeleri ile yüksek miktarda şebeke kaynaklı elektrik enerjisinin neden olduğu sera gazlarının azaltılmasını hedeflemektedir.

Ayrıca, 25 yıl olarak kabul edilen GES proje ömrü boyunca yapılan finansal analiz ile çatı üzeri GES projelerinin finansal sürdürülebilirliğini değerlendirilmesi ve bu tür projelerin ekonomik açıdan uygulanabilirliğinin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Çatı üzeri kurulabilecek GES proje yatırımları için 25 yıllık nakit akışı değerlendirilerek yatırımcılar için güvenilir veri ve rehberlik sunmayı hedeflemektedir.

Bu doğrultularda bu çalışma ile, kentsel alanlara adapte edilebilecek çatı üzeri GES projelerinin faydalarını ortaya koyarak, sürdürülebilir enerji projelerinin yaygınlaşmasına katkıda bulunulması amaçlanmaktadır.

1.3 Tezin Yapısı

Çalışmanın ilk bölümünde konuya giriş yapılarak yapılan literatür taramalarından önemli örnekler sunulmuştur.

Bölüm ikide enerji sektörünün sera gazı salımlarını engellemedeki rolü ve sürdürülebilirlik kavramı ele alınmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi ve bu kaynakların kentsel alanlardaki tasarımları üzerinde durulmuş, yoğun sera gazı salımlarına sahip kentsel alanlar tanımlanmıştır. İl ve ilçe bazında sürdürülebilir enerji planlarına yer verilmiş, enerji sektörünün iklim değişikliği üzerindeki etkileri açıklanmıştır. Ayrıca, iklim değişikliğiyle mücadelede uygulanan politikalar, anlaşmalar ve temiz enerji kaynaklarının önemi vurgulanmıştır. Tezde sera gazı emisyonları ve kapsamaları genel bir bütünlük oluşturacak şekilde tanımlanmıştır.

Bölüm üçte tüketim noktasında üretilen enerjinin doğrudan kullanılmasıyla sera gazı salımını azaltmaya yardımcı olabilecek yenilenebilir enerji üretim sistemleri açıklanarak tez bütününde kentsel alanlarda kullanımının yaygınlaştırılmasının savunulduğu GES hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Türkiye'de öztüketim amaçlı

tesis edilebilecek yenilenebilir enerji üretim santrallerinin dahil olduğu mevzuat ve uygulanan resmi süreçler açıklanmıştır. Bir GES sisteminin öğelerine ve tasarım anlamında boyutlandırılmasına değinilmiştir.

Bölüm dördte, Çorlu için hazırlanan sürdürülebilir iklim enerji eylem planı çerçevesinde, sera gazı emisyonunu azaltmayı hedefleyen GES projeleri incelenmiştir. Bu planlar doğrultusunda, kent bölgesi içerisindeki yoğun sera gazı emisyonlarının azaltımı amaçlanarak, bir sanayi tesisinin çatısına entegre edilebilecek tüketim noktasında üretim gerçekleştirmesi hedeflenen örnek bir GES uygulaması, lisanssız enerji üretim yönetmeliği kapsamında tasarlanmıştır. Yapılan modelleme sonrasında elde edilen üretim verileri incelenmiş ve önlenen sera gazı kapsamında veriler değerlendirilmiştir.

Bölüm beşte, GES projesinin çevresel katkılarının yanı sıra finansal açıdan da sağladığı kazançları ortaya koymak amacı ile değerkendirme yapılmıştır. Şebeke kaynaklı elektrik enerjisi kullanımından doğan sera gazı emisyon azaltımı için planlanan GES projesi için 25 yıllık santral faaliyet ömrü dikkate alınarak nakit akışları incelenmiş ve model olarak sunulan proje için finansal analiz gerçekleştirilmiştir.

Bölüm altıda hazırlanan tez ile ilgili çıkarımlar sonuç olarak paylaşılmıştır.

2

KENTSEL ALANLARDA YENİLENEBİLİR ENERJİ ÜRETİMİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ VE PLANLAMASI

2.1 Sürdürülebilirlik Kavramı

Sürdürülebilirlik kavramı, doğal kaynakların korunması ve çevreyle uyumlu bir şekilde ihtiyaçlarımızı karşılama yeteneğimizi gelecekte de sürdürme çabası olarak ifade edilir. Aynı zamanda, üretme kapasitemizin yakın gelecekte de korunması gerekliliği olarak da tanımlanabilir [28]. Sürdürülebilirlik, dünya üzerindeki kaynakların kullanımında, kaynağın yenilenme süresini dikkate alan ve çevrenin doğal olarak bertaraf edebileceği miktarda ve cinsten atık üretme temellerine dayanmaktadır [29].

"Sürdürülebilirlik" kelimesi genellikle çevresel, ekonomik ve sosyal açılarından uzun vadede kaynakların etkili bir şekilde kullanılmasını ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarını da karşılayacak şekilde davranılmasını ifade eder. Bu kavram, doğal kaynakların tükenmesini önlemeyi, çevresel bozulmayı azaltmayı, toplumsal refahı artırmayı ve ekonomik kalkınmayı sürdürülebilir bir şekilde sağlamayı amaçlar. Sürdürülebilirlik, bir dengenin korunmasını gerektirir; yani, mevcut ihtiyaçların karşılanmasıyla gelecek nesillerin gereksinimlerinin de göz önünde bulundurulması gerekir.

İhtiyaçların karşılanması yönündeki kullanım dengesinin günümüz ve gelecek nesiller arasında sağlanması sürdürülebilir kalkınma olarak tanımlanabilir [30]. Toplumsal kalkınma açısından enerjinin sürdürülebilir olması, enerji üretiminde dışa bağımlılığı azaltarak enerji güvenliğini artırır. Bu da ülkelerin hem ekonomik hem de politik istikrarına katkı sağlar.

2.2 Yenilenebilir Enerjinin Sürdürülebilirliği

Enerji üretiminde kullanılan yöntemlerin ve kaynakların doğal çevre, yaşayan toplum ve gelecek kuşaklar üzerinde tahribat yaratmamasının ve kuşaklar boyunca her kesimin ve toplumun enerjiye adil şekilde ulaşabilmelerinin öneminin anlaşılmaya başlanması ile “Enerjide Sürdürülebilirlik” kavramı ortaya çıkmıştır. Bu bakış açısının edinilmesi ile enerji üretiminde ve tüketiminde sürdürülebilirliğin önemi artmıştır. Sürdürülebilir kalkınma konusunda da enerjinin sürdürülebilir olması önemli bir yer tutmaktadır [31]. Sürdürülebilir enerji, gelecek nesillerin ihtiyaçlarını koruyarak, yaşam kalitesini ve çevreyi düşünerek sürdürülebilir kalkınmayı teşvik eder [32]. Tez kapsamında, yenilenebilir enerji santrallerinin enerji üretiminde sürdürülebilirliği nasıl destekleyebileceğini göstermek açısından kentsel alan için örnek teşkil edebilecek şekilde bir GES projesi incelenmiştir.

Kaynağın toplama hızı, doğal yenilenme oranını aşmadığı sürece, yenilenebilir enerji sürdürülebilir olabilir. Bu şekilde çevrenin doğal yapısı korunurken sera gazı emisyonlarının da kısıtlanması amaçlanmaktadır [33]. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, rüzgar, hidrolik kaynaklar, jeotermal kaynaklar sürdürülebilir enerji kaynaklarıdır. Bu bağlamda bu tez kapsamında, Çorlu kentsel alanı içerisinde enerjide sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için GES kurulumu kaynaklı yıllık üretilebilecek elektrik enerjisi miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, projenin uygulanabilirliğini ve potansiyel katkılarını değerlendirmek açısından kritik öneme sahiptir. İlgili hesaplamalar Bölüm 4’te sunulmuştur.

Enerji politikaları oluşturulurken topluma yüklenen maliyetler, göz önünde bulundurulmalıdır. Toplumsal maliyetlerin bir rekabet faktörü olarak ele alınması, adil bir piyasa ortamı yaratıp yenilenebilir enerji kaynaklarının öncelik kazanmasını sağlar. Uzun vadede enerji talebini karşılayacak en uygun enerji politikası, çevresel boyutun dikkate alınmasını gerektirir [31].

Bu tez kapsamında yenilenebilir kaynaklarla elektrik enerjisi üretimi sağlayan GES projelerine yer verilerek ek yakıt maliyeti ve sera gazı emisyonlarına sebebiyet vermeden elektrik enerjisi üretiminin yapılması amaçlanmıştır. Bu çalışma ile, sürdürülebilir enerji üretimi sağlarken fosil yakıtlardan kaynaklanan çevresel zararlardan da kaçınılması amaçlanmıştır. Bu bağlamda, GES ile üretilen elektrik

enerjisi miktarı ve bu üretim sayesinde önlenen sera gazı emisyonları hesaplanmıştır.

Yenilenebilir enerji santrallerinden rüzgar ve güneş enerji santrallerinin tarıma elverişsiz alanlarda tesis edilmesi ve işletilmesi, tarım arazilerinin tarım amaçlı kullanımına devam edilmesi çevre ve sürdürülebilirlik açısından diğer bir önemli noktadır [31]. Bu bakış açısı ile Çorlu kentsel alanı içerisinde arazi kullanımına gerek kalmayacak şekilde var olan yapıların birer yenilenebilir enerji santraline dönüştürülebileceğini gösteren pilot bir GES proje tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Çatı üzeri kurulum olarak planlanan GES tasarımı, enerji üretiminin binaların tüketim noktalarında gerçekleştirilmesi sayesinde, enerji verimliliğini artırmayı ve iletim kayıplarını minimize etmeyi amaçlamaktadır. Böylece, yoğun enerji tüketimine sahip kentsel alanlarda hem sera gazı emisyonlarının azaltılması hem de enerji ihtiyacının sürdürülebilir bir şekilde karşılanması sağlanabilecektir.

Bu tez ile özellikle kentsel alanlarda sürdürülebilir enerji dönüşümü sağlanarak sera gazı emisyonlarının azaltılması yönünde çalışma yapılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak sağlanan sürdürülebilirlik, uyum ve karbonsuzlaşma dönüşümünün nasıl gerçekleştirilebileceği detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Çorlu ilçesinde pilot olarak tasarlanan çatı kurulumu GES projesi, kentsel alanlarda sürdürülebilir enerji dönüşümünü sağlamak için ideal bir çözüm sunmaktadır.

2.3 Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üretimi

Yenilenebilir enerji, kaynağının doğa tarafından sağlandığı ve doğal denge içerisinde kaynağının kısa süre içerisinde yenilenerek enerji üretimine imkan veren yöntemdir.

Enerjiye erişim ihtiyacı her geçen gün artmakla beraber tarih boyunca insanların enerji ihtiyacını erdiği doğal kaynakları kullanarak karşıladığı görülmekteyken günümüzde modern yenilenebilir enerji yöntemleri kullanılmaktadır [15].

Tarihsel olarak bakıldığında, sanayi devrimi, enerji kullanımında köklü değişikliklere yol açan bir dönüm noktasıdır. 18.YY'ın sonlarından 19.YY'a uzanan bu dönemde insanlık tarihinde enerji kaynaklarının ve enerji kullanımı radikal bir şekilde dönüşmüştür. Sanayi Devrimi'nin ilk zamanlarında, enerji

kaynağı olarak büyük ölçüde kömürle çalışan buhar makineleri kullanıldı. Ancak, 19. yüzyılın sonlarına doğru, elektriğin keşfi ve kullanılabilir hale gelmesi, enerji konusunda büyük bir devrim yarattı. Elektrik enerjisi, sadece fabrikaların verimliliğini artırmakla kalmadı, aynı zamanda üretim süreçlerini hızlandırdı ve daha karmaşık makinelerin kullanımını mümkün kıldı. Sanayi devrimi ile elektriğin yaygınlaşması, sanayileşmenin hızlanmasına ve şehirlerin büyümesine de katkıda bulundu. Sanayi Devrimi ile birlikte fosil yakıtların yoğun kullanımı, büyük ölçüde sera gazı emisyonlarının artmasına ve çevresel bozulmalara yol açtı.

Sanayi Devrimi'nin getirdiği yenilikler ve elektrik enerjisinin endüstride yaygın kullanımı, modern dünyanın temel taşlarını oluşturdu. Ancak bu hızlı sanayileşme, aynı zamanda çevresel sorunları da beraberinde getirdi ve bugün, sürdürülebilir enerji çözümleri arayışının önünü açarak yenilenebilir enerji kaynaklarını barındıran enerji üretim planlarını gerekli kıldı.

18.YY'da Sanayi Devrimi'yle beraber artan kömür kullanımı 19.YY'da yerini petrole bırakmıştır fakat bu yönelim enerji alanında küresel olumsuzluklara neden olmuştur. Tarihte 1970 yılları ve 1990 yılları olmak üzere birçok kez petrol krizi yaşanmıştır. 1973 yılında, Arap-İsrail Savaşı sırasında, OPEC üyeleri, İsrail'i destekleyen Batı ülkelerine karşı petrol ambargosu uygulama kararı aldı. Bu ambargo, özellikle Amerika Birleşik Devletleri ve Batı Avrupa ülkelerine yönelikti. 1979 yılında İran İslam Devrimi, İran'daki petrol üretiminin ve ihracatının büyük ölçüde durmasına neden oldu. 1990 yılında Irak'ın Kuveyt'i işgal etmesi ve Körfez Savaşı'nın patlak vermesi, Orta Doğu'da petrol arzına yönelik kaygıları artırdı. Bu olaylar, petrol fiyatlarında hızlı bir artışa neden oldu.

Petrol krizleri, küresel ekonomiyi ve uluslararası ilişkileri derinden etkilerken enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesinin gerekliliğini ve önemini ortaya koymuştur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi özellikle 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi ile anlaşılmaya başlanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğada sürekli olarak kendini yenileyen ve tükenmeyen enerji kaynaklarıdır ve dolayısı ile, doğa tarafından sürekli olarak takviye edilebilmektedir. Başka bir ifade ile kaynağın yenilenme hızı kaynağın

kullanılma ya da tüketilme hızından yüksektir. Yenilenebilir enerjinin bu özelliği onu aynı zamanda sürdürülebilir yapmaktadır.

Türkiye’de gerçekleşen elektrik tüketim değerlerine bakıldığında 2023 yılı toplam elektrik enerjisi tüketimi 330,3TWh olarak kaydedilmiştir. Bu değer 2022 yılına göre %0,2 oranında azaldığı görülmüştür.

2023 yılında enerji üretim alanında kaydedilen rakam 326,3TWh olup bir önceki yıla göre %0,6 oranında azalma olduğu görülmüştür [34].

Tüketim verilerine karşılık 2023 yılında elde edilen enerji üretim verilerine göre ise Türkiye’de elektrik üretiminin %36,3’ü kömürden, %21,4’ü doğal gazdan, %19,6’sı hidrolik enerjiden, %10,4’ü rüzgardan, %5,7’si güneşten, %3,4’ü jeotermal enerjiden ve %3,2’si diğer kaynaklardan karşılandığı görülmektedir [34].

Türkiye Ulusal Enerji Planı’na göre, 2020’de yenilenebilir enerji kaynaklarının birincil enerji tüketimi içindeki payı %16,7 iken, bu oranın 2053’e kadar %50’ye yükseleceği öngörülmektedir.

Fosil kaynakların payı 2020’de %83,3 iken, bu oran 2053’te %20,8’e gerileyeceği düşünülmektedir.

Nihai enerji tüketimi 2020’de 105,5MTEP olarak gerçekleşmiş ve 2053’e kadar yıllık ortalama %1,3 oranında bir artış göstermiştir. Elektrik enerjisinin payı 2020’de %21,8 iken, 2053’te %55,6’ya ulaşması beklenmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının payı, 2020’de %42,4 iken, 2053’te %69,1’e çıkacağı düşünülmektedir.

Elektrik üretiminde kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının payı da 2053’e kadar kademeli olarak %61,4’e yükselmesi hedeflenmektedir [35].

2024 yılı Ekim ayı sonu itibarıyla Türkiye kurulu gücü 114.599MW’a ulaştığı kaydedilmiştir. 2024 yılı Ekim ayı sonu itibarıyla kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı; %28,1’i hidrolik enerji, %21,5’i doğal gaz, %19,1’i kömür, %10,9’u rüzgar, %16,6’sı güneş, %1,5’i jeotermal ve %2,4’ü ise diğer kaynaklar şeklindedir [34].

EPDK 2024 yılı Eylül ayı sektör raporuna göre elektrik kurulu gücü ve üretim miktarı Tablo 2.1 ile verilmiştir [36].

Tablo 2.1 2023 Eylül-2024 Eylül elektrik kurulu gücü ve üretim miktarı

Kaynak Türü	TOPLAM KURULU GÜÇ (MW)				TOPLAM ÜRETİM (MWh)			
	2023 Eylül	Oran (%)	2024 Eylül	Oran (%)	01-09 2023	Oran (%)	01-09 2023	Oran (%)
Hidrolik	31.593,25	28,91	32.194,55	28,19	49.109.082,61	19,92	61.980.821,22	23,82
Rüzgar	14.602,54	13,36	18.712,38	16,38	15.246.264,67	6,19	20.930.477,22	8,04
Güneş	11.599,02	10,61	12.369,39	10,83	25.300.298,35	10,26	27.171.518,28	10,44
Biyokütle	2.055,50	1,88	2.111,58	1,85	7.335.196,96	2,98	7.609.954,65	2,92
Jeotermal	1.691,34	1,55	1.691,34	1,48	8.153.694,17	3,31	8.165.166,73	3,14
Yenilenebilir	61.541,64	56,31	67.079,24	58,73	105.144.536,77	42,65	125.857.938,11	48,37
Doğal Gaz	25.681,01	23,50	24.997,48	21,89	53.415.983,22	21,67	44.470.876,35	17,09
İthal Kömür	10.373,80	9,49	10.403,80	9,11	52.994.906,80	21,50	54.126.383,44	20,80

Tablo 2.1 2023 Eylül-2024 Eylül elektrik kurulu gücü ve üretim miktarı (devam)

Kaynak Türü	TOPLAM KURULU GÜÇ (MW)				TOPLAM ÜRETİM (MWh)			
	2023 Eylül	Oran (%)	2024 Eylül	Oran (%)	01-09 2023	Oran (%)	01-09 2023	Oran (%)
Linyit	10.193,96	9,33	10.229,19	8,96	30.690.847,01	12,45	31.327.221,01	12,04
Taş Kömürü	840,77	0,77	840,77	0,74	2.741.150,53	1,11	3.144.343,37	1,21
Asfaltit	405,00	0,37	405,00	0,35	1.157.797,92	0,47	733.048,23	0,28
Fuel Oil	251,93	0,23	251,93	0,22	356.267,60	0,14	543.399,38	0,21
Nafta	4,74	0,00	4,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lng	1,95	0,00	1,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Motorin	1,04	0,00	1,04	0,00	33,26	0,00	0,00	0,00
Termik	47.754,19	43,69	47.135,89	41,27	141.356.986,35	57,35	134.345.271,79	51,63

Tablo 2.1 2023 Eylül-2024 Eylül elektrik kurulu gücü ve üretim miktarı (devam)

Kaynak Türü	TOPLAM KURULU GÜÇ (MW)				TOPLAM ÜRETİM (MWh)			
	2023 Eylül	Oran (%)	2024 Eylül	Oran (%)	01-09 2023	Oran (%)	01-09 2023	Oran (%)
Toplam	109.295,83	100,00	114.215,12	100,00	246.501.523,12	100,00	260.203.209,90	100,00

Türkiye Ulusal Enerji Planı çalışması kapsamında yapılan çalışmalarda elektrik enerjisi tüketiminin 2025 yılında 380,2TWh değerine çıkarak 2030 yılında 455,3TWh, 2035 yılında ise 510,5TWh değerlerine ulaşacak şekilde artacağı tahmin edilmektedir. 2020 yılında nihai enerji tüketiminde elektriğin payı %21,8 iken, bu oranın 2035 yılına kadar %24,9'a yükseleceği ve toplam elektrik kurulu gücünün 2035 yılı itibarıyla 189,7GW ulaşacağı öngörülmektedir [34].

Türkiye'de 2035 yılında planlanan elektrik üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarının önemli bir paya sahip olması hedeflenmektedir. Bu çerçevede, rüzgar ve güneş enerjisi gibi kesintili yenilenebilir kaynakların toplam elektrik üretimindeki paylarının artırılması planlanmaktadır. Rüzgar enerjisinde 29,6GW'lık kurulu güce ulaşılması öngörülmektedir. Bu miktarın 24,6GW'ı kara rüzgar enerjisi tesislerinden, geri kalan 5GW'ı ise deniz rüzgar enerjisi tesislerinden sağlanacaktır. Güneş enerjisinde ise 52,9GW'lık kurulu güce erişilmesi hedeflenmektedir. Diğer yenilenebilir enerji kaynakları için de önemli yatırımlar planlanmaktadır. Hidroelektrik santrallerde 35,1GW, jeotermal ve biyokütle enerji santrallerinde ise toplamda 5,1GW'lık kurulu güce ulaşılması öngörülmektedir. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesiyle, ülkenin enerji ihtiyacının büyük bir kısmı yenilenebilir ve çevre dostu kaynaklardan karşılanacak, bu da sürdürülebilir bir enerji politikasının benimsenmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı santrallerin esnekliğinin artırılması veya esnek çalışma özelliklerine sahip yeni santrallerin kurulması, sistem esnekliğini sağlayacaktır [35].

Fosil yakıt kullanımı nedeni ile enerjide dışa bağımlı olan Türkiye'de enerji arzının güvenliği ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasında yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımına geçiş önemli bir yer tutmaktadır. Yapılan çalışma kapsamında, Tablo 2.2, Tablo 2.3 ve Tablo 2.4 ile belirtildiği [38] gibi, enerji tüketiminin ilerleyen projeksiyonlarda artması beklenmektedir. Bu artış ile beraber yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım payının da yükseleceği öngörülmektedir. Sürdürülebilir enerji planlarının oluşturulabilmesi için, bu tez çalışması ile yenilenebilir enerji kullanım payının en küçük ölçekten en büyük ölçeğe kadar artırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, konut tipi enerji kullanımından sanayi tesislerinde kullanılan elektrik enerjisine kadar, yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılması üzerinde durulmuştur. Kentsel alanlarda

yenilenebilir enerji kullanımını teşvik etmek, sürdürülebilir şehirleşmenin en önemli adımlarından biridir. Çatı üzeri GES kurulumları, yerel yönetimlerin ve hükümetlerin yenilenebilir enerji destek politikalarıyla entegre edilerek, şehirlerde enerji bağımsızlığını artırabilir ve sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. Bu bağlamda, kentsel alanlarda GES kurulum stratejileri, hem yasal düzenlemelerle hem de teşvik mekanizmalarıyla desteklenmelidir.

Tablo 2.2 Birincil enerji tüketiminde kaynakların payı

	2025	2030	2035
Katı Yakıtlar	26,6%	24,1%	21,4%
Petrol	28,5%	27,5%	26,5%
Gaz	24,2%	23,9%	22,5%
Nükleer	2,3%	4,1%	5,9%
Yenilenebilir	18,4%	20,4%	23,7%
Toplam	100,0%	100,0%	100,0%

Tablo 2.3 Birincil enerji tüketiminde kaynaklar (MTEP)

Yıllar	2025	2030	2035
Katı Yakıtlar	47,0	47,9	43,9
Petrol	50,5	54,8	54,5
Gaz	42,9	47,7	46,2
Nükleer	4,0	8,0	12,0
Yenilenebilir	32,6	40,6	48,7
Toplam	177,0	199,0	205,3

Tablo 2.4 Elektrik üretiminde kaynaklar (TWh)

	2025	2030	2035
Termik	201,2	201,2	173,7
Nükleer	18,6	37,2	55,8
Hidrolik	81,9	87,9	87,9
Rüzgar	38,3	53,7	90,1
Güneş	28,3	52,2	84,0
Diğer	16,7	20,5	16,2
Toplam	380,2	452,7	507,7

2.4 Sera Gazı Emisyonları ve İklim Değişikliği

Yeryüzünden yansıyan ışınların atmosferden geçemeyerek yeryüzüne geri dönmesi nedeniyle yerkürenin sıcaklığının kademeli olarak artması küresel ısınma olarak tanımlanmaktadır. Sera gazları normal şartlarda atmosferde doğal olarak belirli oranlarda bulunan su buharı, CO₂, CH₄, N₂O ve O₃ gazları ile endüstriyel üretim sonucunda ortaya çıkan HFC, PFC, SF₆ gibi florlu bileşiklerin tamamından oluşmaktadır [37, 38].

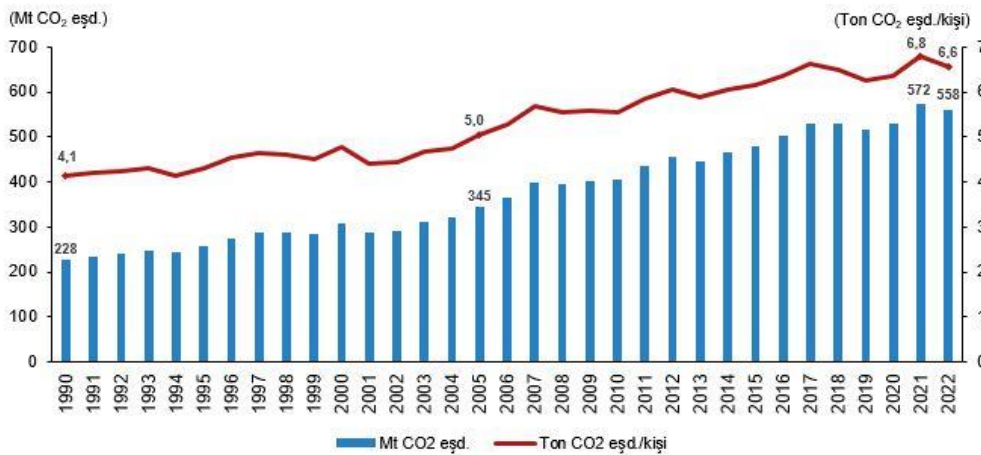
Atmosferde doğal olarak bulunmayan yapay olarak meydana gelen ve atmosfere salınan HFC, PFC ve SF₆ gibi florlu gazların yanında H₂O, CO₂, CH₄, N₂O ve O₃ doğal yollar ile atmosfere bulunan sera gazları olsalar dahi bu gazların da atmosferde bulunma oranları yapay olarak artmaktadır. Atmosfer geçirgenliğinin bozulmaması adına CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC ve SF₆ gazlarının atmosferde bulunma oranları Kyoto Protokolü kapsamında azaltılmalı ve kontrol altına alınması gerekmektedir [37, 38].

Günümüz teknolojisi ve modern yaşam gereklilikleri gözönüne alındığında enerji kullanımının kaçınılmaz olduğu aşikardır bununla beraber enerji sektörünün toplam sera gazı emisyonlarının oluşmasındaki yeri %75,6 olup bu oranın %44'ü fosil yakıtlardan kaynaklanmaktadır [39].

Türkiye’de 2030 yılına kadar azaltım için bir önlem alınmaması durumunda sera gazı emisyonlarının 2020 yılına kıyasla iki kattan fazla artarak 1,18MtCO₂e seviyesine miktarına geleceği düşünülmektedir. Azaltım senaryoları ile birlikte sera gazlarında %41 oranı ile yaklaşık 482MtCO₂e miktarında düşüş hedeflenmektedir [3].

TÜİK Ulusal Sera Gazı Envanteri 1990 – 2021 raporunda 2021 yılında salınan 452,7MtCO₂e’nin 147,9MtCO₂e’lik kısmı çevrim ve elektrik üretiminden kaynaklandığı belirtilmiştir [40]. 2022 yılı için hesaplanan toplam sera gazı emisyonu, bir önceki yıla göre %2,4 azalarak 558,3MtCO₂e olarak hesaplanmıştır. Kişi başı sera gazı emisyonu ise 1990 yılında 4,1tCO₂e iken, 2021 yılında 6,8tCO₂e ve 2022 yılında 6,6tCO₂e olarak kaydedilmiştir. 2022 yılında Türkiye’nin toplam sera gazı emisyonlarının %71,8’i enerji sektöründen kaynaklanmıştır. Enerji sektörü emisyonları, 1990 yılına göre %179,8 oranında artış göstermiştir. Ancak 2022’de, bir önceki yıla kıyasla %1,4 azalarak 400,6MtCO₂e eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Bu veriler, enerji sektörünün Türkiye’nin sera gazı emisyonlarındaki en büyük paya sahip olduğunu ve bu alandaki artış eğiliminin devam ettiğini göstermektedir [41]. Türkiye’de gerçekleşen sera gazı emisyon miktarları ile ilgili literatürde 2023 ve 2024 yılına ait bir çalışma bulunamamıştır.

TÜİK tarafından hazırlanan bu raporda 2015-2021 yılları arasındaki elektrik üretim sektörü kaynaklı sera gazı emisyon miktarının değişimi Şekil 2.1. ile verilmiştir.



Şekil 2.1 1990-2022 yılları arası elektrik üretiminde sera gazı emisyonları

Şekil 2.1 ile verilen sera gazı emisyon miktarlarında düşüşü sağlamak amacı ile sera gazı salım miktarı yüksek olan kentsel alanlar için sürdürülebilir enerji planları

tasarlanarak kentlerde uygulanabilecek GES'ler bu tez kapsamında çözüm olarak sunulmuştur.

Sera gazı emisyonları üç kapsam altında incelenmektedir.

Kapsam 1 emisyonları (Doğrudan emisyonlar), bir bölge, alan veya işletmeye ait olan ve bu bölge, alan veya işletme sınırları içerisinde meydana gelen emisyonlardır. Sera gazı kaynakları veya kontrolü bölge, alan veya işletmeye aittir. Bir işletmenin sahip olduğu veya kontrol ettiği sera gazı kaynaklarından salınan sera gazı emisyonlarıdır [38].

Kapsam 2 emisyonları (Enerji Dolaylı Sera Gazı Emisyonları), sera gazı kaynağının veya kontrolü ile kullanım faaliyetinin aynı bölge, alan veya işletmeye ait olmaması durumunda oluşan sera gazlarıdır. Başka bir anlatış ile kapsam 2 elektrik, ısı veya buhar gibi satın alınan enerji kaynaklarından kaynaklanan dolaylı sera gazı emisyonlarını içerir. Örneğin elektrik tüketimi sırasında meydana gelen emisyonlardır.

Kapsam 3 emisyonları (Diğer Dolaylı Sera Gazı Emisyonları), Kapsam 2 emisyonları dışında, bölge, alan veya işletmesınırları içerisinde gerçekleşen faaliyetler sonucunda bölge, alan veya işletmenin sınırları dışında ortaya çıkan sera gazı emisyonlarıdır. Örneğin uçak yolculuğu sırasında oluşan sera gazı emisyonlarıdır.

Kapsam 1 ve 2 emisyonları genellikle daha kolay ölçülür ve yönetilirken, kapsam 3 emisyonları daha karmaşık olabilir ve daha fazla dış faktöre bağlıdır. Bu tez kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji ile önlenerek sera gazı emisyonları kapsam 2 olarak değerlendirilmiştir.

İklim, insan tarafından doğaya bırakılan izlerden dolayı olumsuz yönde değişmekte ve bu değişim her geçen yıl atmosferin biraz daha ısınmasına sebep olmaktadır. Bu olumsuz etkiler gezegendeki sekiz milyon türden bir milyonunu yok olma tehlikesiyle karşı karşıya bırakmaktadır [15].

Enerji endüstriyelleşme süreci için büyük ve önemli bir girdidir ve sanayi devrimi sonrasında enerjiye olan talebin her geçen yıl yükseldiği aşıkardır. Kırılma noktası olarak kabul edilen sanayi devrimi sera gazı emisyon artışını tetiklemiş ve nüfusun çoğalması ile sera gazı emisyon miktarı giderek artmaya devam etmiştir. Bu zincirde enerji ihtiyacının karşılanması için fosil yakıtların kullanılması,

yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanım oranının düşük olması gibi durumlar gelişim ve değişim süreci içerisinde sera gazı salımının artmasına ve iklim değişikliğine sebep olmuştur. İklim değişikliği küresel bir sorundur ve bu sorun ülkeler ya da kıtalar ile sınırlandırılmamalıdır [15].

Bu minvalde, bu çalışma ile kentsel alanlarda iklim kriziyle mücadele için sürdürülebilir enerji planlarının oluşturulması gerektiği vurgulanmıştır.

Çözüm sürecinin başlangı olan “Birleşmiş Milletler Küresel İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi” Birleşmiş Milletler liderliğinde yapılan çalışmaların sonucu olarak gündeme alınmış, oluşturulmuş ve yürürlüğe sokulmuştur. Yaşanan bu gelişme ile beraber hazırlanan sözleşmenin imzacılarının katılımı ile Taraflar Koferansı düzenlenmiştir. Birleşmiş Milletler Küresel İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ile başlayan çözüm ve uyum süreci 1997 yılında Kyoto Protokolünün ve 2016 yılında Paris Anlaşmasının yürürlüğe girmesi ile devam etmiştir. 2008-2012 yılları arasında sera gazı salımlarını %5 oranında düşürmek adına ülkeler Kyoto protokolüne imza atmıştır ve belirlenen süre içerisinde bu oranı yakalayacaklarını taahhüt etmişlerdir.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, orantısız artan sera gazı emisyonları nedeniyle dünya için ciddi bir tehdit haline gelmiştir. 2015'te Paris İklim Anlaşması, sera gazı emisyonlarını azaltarak küresel sıcaklık artışını 2°C ile sınırlamayı ve mümkünse 1,5°C'nin altına indirmeyi hedeflemiştir. 2021'de Türkiye, anlaşmayı imzalayarak 2053 yılına kadar net sıfır karbon emisyonuna ulaşmayı taahhüt etmiş ve bu doğrultuda Yeşil Mutabakat Eylem Planı'nı yayınlamıştır. Bu adımlar, Türkiye'nin sürdürülebilirlik odaklı politikalarını güçlendirme ve iklim değişikliğiyle mücadelede daha aktif bir rol oynama amacını taşımaktadır [2].

Avrupayı sera gazı emisyonları bakımından nötr hale getirerek insan yaşamını ve doğal yaşamı olumsuz yönde etkileyen iklim krizi ile başa çıkmak amacıyla Avrupa Komisyonu tarafından 11 Aralık 2019 tarihinde AYM oluşturulmuştur [42, 43]. AYM ile büyüme stratejilerini iklim-nötr eksenine paralel şekilde belirleyeceğini bildiren AB, sera gazı emisyonlarını nötrleyecek ilk kıta olma hedefini de ortaya koymuştur. Bu bağlamda AYM döngüsel ekonomi ile kaynakların dönüştürülerek etkin bir şekilde kullanımını sağlayacak şekilde yol haritaları belirlemiştir [42, 44].

AYM kapsamında ülke ve organizasyonların bir dönüşüme başlayabilmesi için uygun bir mali zemine sahip olmaları da ayrıca önemlidir [15].

2019 yılında imzalanan AYM kapsamında Türkiye Ticaret Bakanlığı tarafından Yeşil Mutabakat Eylem Planı yayınlanmıştır. Enerjinin verimli kullanımı, sürdürülebilir yöntemler ile temiz ve ucuz enerji üretiminin gerçekleştirilmesi hedefleri enerji üretimi ve tüketimi noktasında eylem planı içerisinde yer verilen hedeflerdendir. Bu noktada AYM hedeflerine ulaşmak için 81 adet eylem belirlenmiştir [39].

Bu tez kapsamında, pilot proje olarak sanayi tesisine entegre edilebilecek GES projesinin seçilmesi ve yenilenebilir enerji entegrasyonunun gerçekleştirilmesi, yalnızca sürdürülebilir enerji üretimi ve sera gazı emisyonlarının azaltılması açısından değil, aynı zamanda AYM kapsamında karşılaşılabilecek sınırdaki karbon düzenlemelerine karşı da bir politika zemini oluşturmaktadır. Bu yaklaşım, sanayi tesislerinin karbon ayak izini azaltarak, gelecekteki olası karbon vergileri ve düzenlemeleriyle uyumlu hale gelmelerini sağlar. Aynı zamanda, sanayi sektöründe yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik stratejik bir adım olarak da değerlendirilebilir.

2.5 Kentsel Alanlarda Enerji

Kentsel alanlar; genellikle büyük bir nüfusun yaşadığı, yoğun yerleşim alanları olarak tanımlanır ve sanayi, ticaret, kültür ve diğer sosyal faaliyetlerin merkezi olan bölgelerdir. Kentsel alanlar, enerji tüketimi ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan karbon salımının büyük bir kısmından sorumludur. Aynı zamanda, iklim değişikliğinin etkilerinden en fazla etkilenen alanlardır [45].

Bu etkilenmenin bir sonucu olarak, bu tezde kentsel ölçekli CO₂ salımını engellemek amacı ile sürdürülebilir enerji planlarına dikkat çekilmiştir. Sürdürülebilir bir kentsel enerji sistemi, arz tarafında düşük karbon teknolojilerini gerektirecek ve verimli dağıtım altyapısı ile tüketimin azaltılmasını sağlayacaktır. Kentler, mevcut sürdürülemez fosil kaynaklı enerji üretiminden, kaynakların tükenme tehdidi yanında kirlilik ve sera gazı emisyonları gibi negatif sonuçları kontrol etmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi sağlayacaktır. Bu tezde sunulan pilot proje, enerji planlarına dahil edilmek üzere, enerji üretim yollarının

değiştirilmesi ve çeşitlendirilmesini hedeflemektedir. Bu planların uygulanabilirliği ve etkinliğinin artırılması bu çalışmanın hedeflerindendir.

Kentsel alanlarda enerji planlaması ile, ekonominin ve toplumun sürdürülebilir gelişiminin desteklenmesi amaçlanır. Bu amaçla enerji planının yapıldığı bölgedeki arazi kullanımı, iklim koşulları, enerji kaynakları, endüstriyel yapılar, sosyal ve kültürel tüm boyutlar bu planlama kapsamında dikkate alınmalıdır [27].

Kullanılacak kaynaklara özgü kentsel düzenlemelerin ve planlamaların yapılması bu noktada önem arz etmektedir. Bu kapsamda kentsel alanların, çevredeki doğal kaynakları en iyi şekilde enerjiye dönüştürebilmesini sağlamak amacıyla meteorolojik ve coğrafi özellikleri açısından değerlendirilmesi önem kazanmaktadır. Bu tez kapsamında örnek olarak sunulan GES projesinin üretim analizinin gerçekleştirilmesinde önemli bir yere sahip olan meteorolojik veriler PVGIS veri tabanı kullanılarak elde edilmiştir.

Ayrıca insan faaliyetlerinin yoğun olduğu kentsel alanlara entegre edilecek enerji üretim sistemlerinin kurulumunda ve kullanımında güvenliğin de sağlanması gereklidir.

Enerji tüketim yoğunluğunun fazla olduğu kentsel alanlarda yenilenebilir enerji kaynak kullanımının önemi enerji arzı bakımından da oldukça önemlidir. Bu bağlamda, Kentsel planlamalarda enerji kaynağının kullanımı açısından desteklenmesi gereken bu dönüşümde bina yükseklikleri, çatı eğimleri ve yönleri gibi konular planlamada göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu tez kapsamında, öztüketim modelinde tüketim noktasında üretimin sağlanabileceği GES tasarımı sunulmuştur. Bu bağlamda, üretim ve tüketim noktasının aynı yerde olması, montaj kolaylığı ve çalışma esnasında gürültü gibi çevresel etkilerinin olmaması kentsel alanlarda çatılara montajlanmış GES projelerini sürdürülebilir enerji kullanımının desteklenmesinde önemli bir noktaya getirmektedir.

Kentsel yoğunluğun artması ile beraber binaların birbirlerine yapacakları gölgelemeler ve binaların birbirlerine olan yakınlıkları GES projelerinin enerji üretimi potansiyelini etkileyecektir. Nüfusun kent içerisinde artması kentsel yoğunluğun oluşmasına neden olacaktır. Bunlara ek olarak, bina yapı ve özellikleri de enerji üretim ve tüketim potansiyeli üzerinde etkili olacaktır [46].

Bu tez kapsamında enerji üretim hesaplamaları yapılırken, yakın gölgelemelerden kaynaklı kayıpların etkisinin azaltılması amacıyla, kurulum planlanacak tesisin çevresinde gölge etkisi yaratmayacak yapıların bulunmamasına özen gösterilmiştir. Bu nedenle, tasarım gerçekleştirilirken, tesisin etrafındaki potansiyel gölgeleme unsurları PvSyt simülasyon programı ile analiz edilerek detaylar Bölüm 4'te sunulmuştur.

Coğrafi bilgi sistemleri araştırmasına göre, güneş enerjisi sistemlerinin kullanım potansiyeli kentsel bölgelerde eşit şekilde dağılmamaktadır. Bu nedenle kentsel alanda GES projelerinin elektrik enerjisi üretimi veriminin artırılması noktasında uygun planlamaların yapılması oldukça önemlidir [8].

Kentsel alanda tesis edilen fotovoltaik enerji santralleri için kurulum alanları ev ve iş yerlerinin çatıları olarak göze çarpmaktadır [8].

Bu tez kapsamında, bina çatılarına GES uygulaması yapılacak şekilde plan yapılmıştır. Bu planın uygulanmasıyla, enerji tüketimini azaltmak, çevresel etkileri minimize etmek ve enerjide dönüşümün sağlanması hedeflenmektedir. Özellikle kentsel alan içerisinde yoğun sera gazı emisyonu salımına sebep olan sanayiler için enerji tüketim ve üretiminde dönüşüm hedeflenmiştir.

2050 yılı için, şehirlerin dünya nüfusunun yaklaşık üçte ikisine ev sahipliği yapacağı tahmin edilmektedir bununla beraber binalara entegre edilecek güneş enerji teknolojileri ile 2050'ye gelindiğinde küresel güneş kapasitesinin yarısından fazlasının elde edileceği düşünülmektedir ve ilgili entegrasyonun düşük karbonlu kalkınma için önemli bir avantaj sağlayacağı açıktır [16].

Enerji ve planlama ilişkisi, enerji kullanımının etkin ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesini kapsar. Uygun fiyatlandırma politikaları, kaynakların verimli kullanılmasını teşvik ederken, sürdürülebilirlik ve çevresel faktörleri de dikkate alır. Ayrıca, enerji odaklı genişleme, kentsel mekanların enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kullanımı ve düşük karbonlu teknolojilerle gelişmesini hedefler. Esnek teknolojik tasarımlar, kentsel altyapıyı yenilenebilir enerji kaynaklarına uyumlu hale getirerek, kentlerin enerji ihtiyaçlarını sürdürülebilir bir şekilde karşılamayı amaçlar. Bu ilişki, ekonomik ve toplumsal faktörlerle birlikte, sürdürülebilir kentlerin oluşturulmasına katkı sağlar [47].

Kentsel alanda yenilenebilir enerjinin planlanması açısından bakıldığında “imar mevzuatı çerçevesinde yenilenebilir enerji ile ilişkilendirilebilecek- 3194 sayılı İmar Kanunu (1985), Çevre Düzeni Planları ve Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (2008) gibi bazı temel metin hükümleri çözümlemeye konu edilmiştir. Kentsel planlama açısından en temel mevzuat belgesi olan İmar Kanunu’nun yenilenebilir enerji açıklaması, enerji ve ekoloji ile doğrudan bağlantı kuran 8. Madde (h bendi) ile sınırlı kalmış ve ayrıntılı düzenlemelerin sorumluluğu konuya yönelik özel kanunlara bırakılmıştır.”.

İmar Kanunu'nda, özellikle kentsel planlama bağlamında önemli olan yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği gibi konuları doğrudan ele alan yeterli ve gereken hükümler bulunmamaktadır. Ancak, 2013 yılında yapılan bir değişiklik İmar Kanunu'na eklenen 8. maddenin h bendinde belirli bir bağlamda enerji ve ekoloji ile ilgili hükümler yer almaktadır. Kırsal yapıların enerji verimliliği, iklim duyarlılığı ve ekolojik sürdürülebilirlik gibi özelliklerini vurgulayan bu düzenleme, çevresel etkileri azaltmayı ve enerji tüketimini optimize etmeyi hedefler. Ayrıca, kırsal alanlarda çevre dostu ve modern yapıların teşvik edilmesi amacıyla bakanlık tarafından projeler ve uzun vadeli kredilendirme desteği bu madde kapsamında değerlendirilebilir.

Türkiye’nin kentsel planlama mevzuatının gelecek 30 yıl içinde “yenilenebilir enerjiye erişim hakkı” açısından gözden geçirilmesi ve özellikle çevre düzeni planlarının ulusal düzeyde geliştirilmesi önemlidir. Ekonomik açıdan enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, enerji politikasının temel önceliklerinden biridir. Ancak bu öncelikle birlikte, ülkenin yenilenebilir enerji kaynaklarını koruma ve kullanma dengesi içinde kullanması da gelecek yüzyılın en önemli konularından biridir. Bu bağlamda, kentsel planlama mevzuatının yenilenebilir enerjiye dayalı kent planlama yaklaşımlarını destekleyecek şekilde güncellenmesi büyük önem taşımaktadır [48].

Kent planlaması ve yenilenebilir enerji arasındaki ilişkide, yer seçimi ve kentsel stratejiler iki önemli boyutu oluşturur. Yer seçimi, planlama sürecinde yenilenebilir enerji kaynaklarının belirlenmesi ve bu kaynakların kent dokusuyla uyumlu bir şekilde entegre edilmesidir. Bu aşamada, bölgesel özelliklerin, enerji kaynağı potansiyellerinin ve çevresel etkilerin detaylı bir analizi yapılır. Doğal değerlerin korunması ve kentsel dokunun bozulmaması gibi faktörler dikkate alınarak,

yenilenebilir enerji projeleri için uygun yerlerin belirlenmesi fiziki planlama kararlarının önemli bir parçasıdır. Bu süreçte, kentsel stratejiler de önemlidir. Kentlerin uzun vadeli gelişim hedefleri ve enerji politikaları, yenilenebilir enerji projelerinin yerleşim bölgeleriyle uyumlu bir şekilde entegrasyonunu sağlamak için belirlenir. Bu stratejiler, kentsel dönüşüm, altyapı geliştirme ve çevresel sürdürülebilirlik gibi konuları kapsar ve yenilenebilir enerji projelerinin kent planlama sürecinde etkin bir şekilde yönetilmesini sağlar [49].

Bu tez kapsamında, sürdürülebilir kent planlarına yenilenebilir enerji santrallerinin dahil edilmesi konusu ele alınmış ve bu bağlamda Çorlu İlçesi için hazırlanan SECAP çalışması incelenmiştir. Bu çalışma ile kentsel alanlarda sürdürülebilir enerji çalışmalarının yaygınlaştırılması ve buna bağlı olarak sera gazı emisyonlarının azaltılması amaçlanmıştır. Aynı zamanda yenilenebilir kaynaklı enerji santrallerinin entegrasyonunun tüm kent ölçeğine yayılması kapsamında kısa-orta-uzun vadeli planlamalar yapılmıştır. Bu planlamalarda planlanan santrallerin ilk yatırım maliyetleri gözönünde bulundurulmuştur. Yayınlanan SECAP raporu halka açık olacak şekilde yayınlanarak halkın bilinçlendirilmesi sağlanmıştır.

Yenilenebilir enerji projelerinin kent planlama sürecindeki başarılı entegrasyonu, yer seçimi ve kentsel stratejilerin dikkatle planlanması ve uygulanmasıyla mümkün olur. Bu, kentlerin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasını sağlarken, çevresel koruma ve enerji verimliliği gibi önemli konuların da göz önünde bulundurulmasını gerektirir [49].

Yenilenebilir enerji santrallerinin planlamasında yer seçimi hem enerji verimini hem de ekolojik dengeyi etkiler. Kent sınırları içinde bu tesislerin kurulabilmesi için ekolojik zararın önlenmesi amacıyla uygun olmayan alanların belirlenmesi önemlidir. Su, kara ve hava canlılığına zarar vermeyecek şekilde planlama yapılmalıdır. Ayrıca, projelerin kent planlamasındaki rolü, bölgesel ve yerel enerji potansiyelinin mekansal analizine dayanır. Bu analiz, çevresel koşulları, yenilenebilir enerji kaynaklarını ve enerji talebini etkileyen demografik ve ekonomik faktörleri içerir.

Bu tez kapsamında sunulan kentsel alana entegre edilecek GES projeleri için dikkate alınması gereken stratejiler Tablo 2.5 ile verilmiştir.

Tablo 2.5 Kentsel alanda yenilenebilir enerji santral planlaması

Strateji Araçları	Uygulama Araçları
Sürdürülebilir kent planlama yaklaşımlarında, yenilenebilir enerji santral planlaması anlayışının yaygınlaştırılması	Yerel enerji planlamasının, arazi kullanım kararları ile entegre edilmesi
Kentsel alanlarda stratejik planlama aşamasında, yenilenebilir enerji kaynaklarının, ekonomik fayda maliyet analizlerinin yapılması	Yeşil sertifikasyon süreçlerinde, yenilebilir enerji planlamasının bina ölçeğinden mahalle ve kent ölçeğine genişletilmesi
Yenilenebilir enerji konusunda, yerel yönetimlerin halkı bilgilendirmesi ve halkın yerel yenilebilir enerji kaynaklarını benimsemesi	Yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin uygulama ölçeklerinin ve yer seçimi kararlarının, kent planlama süreçlerine entegre edilmesi
Kent planlama sürecinde yenilenebilir enerji proje yaklaşımından, temiz enerji aşamasına geçişin sağlanması için strateji ve uygulama araçlarının geliştirilmesi	

Tez çalışmasında, Tablo 2.6 baz alınarak, yenilenebilir enerji santrallerinin entegrasyonu kapsamında, arazi kullanımı yapılmadan mevcut bina çatılarına entegre edilebilecek bir GES projesi planlanmıştır. Bu projenin temel amacı, tarım arazilerinin ve diğer mevcut arazilerin sürdürülebilirliğini koruyarak, mevcut yapı stoğunu enerji üretim kaynaklarına dönüştürmek ve elektrik dağıtımında yaşanan kayıpları önleyerek sürdürülebilir enerji üretimini sağlamaktır.

Tablo 2.6 Kentsel alanda yenilenebilir enerji santrallerinin planlama analizi

Süreç	Uygulama
Mevcut durum analizi	Planlama alanının içinde yer tüketim noktalarının mevcut enerji tüketim profilinin çıkartılması
Enerji İhtiyacının Belirlenmesi	Tüketim noktasının tüketim profiline göre yıllık enerji ihtiyacının belirlenmesi
Kaynağın Belirlenmesi	Tüketim noktasının bulunduğu planlama sınırları içerisinde kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynağının belirlenmesi.
Yer seçimi aşaması	Seçilen yenilenebilir enerji kaynağı kullanılarak tesis edilecek enerji üretim santrali için uygun yer kriterlerinin belirlenmesi
Plan uygulama aşaması	Yenilenebilir enerji santralinin kurulumu
Stratejik plan oluşturma aşaması	Yenilenebilir enerji santralinin halk tarafından kabul edilmesinin sağlanması
Proje sonrası sürdürülebilirlik adına geribildirim aşaması	Santralin yıllık SWOT (güçlü yönler, zayıf yönler, tehditler ve fırsatlar tablosu) analizlerinin yapılarak, geleceğe yönelik süreç iyileştirmelerini gerçekleştirmek.
Projenin gelecek öngörülerinin geliştirilmesi	Yenilenebilir enerji santralinin, akıllı şebeke sistemine entegrasyonu.

Lisanssız enerji santrali kurulumunun temel mantığı olan tüketime karşılık üretimi desteklemek prensibi doğrultusunda, bu çalışma kapsamında sanayi tesisinin mevcut elektrik tüketimleri incelenmiş ve bu doğrultuda bir tüketim profili

ıkarılmıştır. Tkretim profilinin belirlenmesi, kurulacak GES kapasitesinin doğru bir şekilde tespit edilmesi açısından kritik bir faktördür. Proje kapsamında, lisanssız enerji üretim santrali kurulumu için gerekli resmi işlemler açıklanmıştır. Lisanssız enerji üretim tesisleri ile ilgili izlenmesi gereken mevzuat Bölüm 3 ile detaylandırılmıştır.

Enerji santralinin şebekeye bağlanmasından sonra, her ay üretilen GES kaynaklı elektrik enerjisi sayaçlardan okunarak sera gazı emisyonlarındaki azalma takip edilecektir. Bu süreç, projenin sürdürülebilir enerji üretimi ve çevresel faydalarını sürekli olarak değerlendirmeye olanak tanımaktadır. İlgili analizler Bölüm 4 ile verilmiştir.

Bu tez kapsamında sunulan ve kentsel alan planlamasında kritik öneme sahip binaların enerji santrallerine dönüştürülmesi, temiz enerji üretimini artıracak ve sera gazı emisyonlarını azaltacaktır. Bu süreç, ilgili kanunlar ve yönetmelikler doğrultusunda yürütülecektir. Bu alışma kapsamında çevresel sürdürülebilirlik gözönünde bulundurularak var olan binaların çatı alanları enerji santral kurulumu için değerlendirilmiştir. Binaların enerji üretim sistemlerine entegrasyonu ile sera gazı emisyonlarının kontrolü hedeflemektedir. Böylece, evresel etkilerin azaltılması, sürdürülebilir enerji kullanımının teşvik edilmesi ve kentsel alan planlamasının optimize edilmesi amaçlanmaktadır.

2.6 Sürdürülebilir Enerji Planları

SECAP, iklim değişikliği ile mücadele için önemli bir adımdır. Belediye Başkanları Sözleşmesi'ne imzacı olan belediyelerin 2030 yılına kadar sera gazı emisyonu azaltım taahhütlerine nasıl ulaşılabileceğini gösteren bir belgedir. Bu plan, sürdürülebilir enerji kullanımını teşvik ederek sera gazı emisyonlarını azaltmayı amaçlar. Aynı zamanda halkın iklim değişikliği konusunda bilinçlenmesine katkı sağlar ve daha temiz mahalleler yaratılması gibi faydaları beraberinde getirir. SECAP, yerel yönetimlerin sürdürülebilir enerji ve iklim eylemlerini içeren bir strateji belgesidir. Belediyeler bölgesel olarak sera gazı emisyonlarının azaltılmasında ve iklim değişikliğinin önlenmesi kapsamında sürdürülebilir iklim enerji eylem planları hazırlamaktadırlar. Bu süreçte yenilenebilir enerji projeleri ve enerji verimliliği konuları önemli hale gelmektedir.

Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı, Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak ve sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşmak amacıyla oluşturulan bir strateji belgesidir. Bu plan, ulusal düzeyde yenilenebilir enerji alanında politika ve eylemleri belirlemeyi amaçlar. İçeriğinde, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidroelektrik, biyokütle ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak için alınacak önlemler, hedefler ve uygulama adımları yer almaktadır. Bu plan, enerji sektörünün dönüşümüne katkı sağlamak ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemek amacıyla hazırlanmıştır.

Ulusal yenilenebilir enerji eylem planlarının uygulanmasında ve sonuçlarının görülebilmesi için yerelde kentlerin enerji eylem planlarını oluşturarak uygulamaya koymaları oldukça önemlidir.” Dolayısıyla kent planlama ile yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki ilişkilerin güçlendirilmesi; mekansal gelişme stratejilerine bağlı olarak yenilenebilir enerji eylem planlarının oluşturulmasına yönelik yenilikçi yaklaşımlar çerçevesinde olabilecektir” [49].

Çorlu Belediyesi, 2019 yılında Başkanlar Sözleşmesi’ne imza atarak, 2030 yılına kadar şehirde %40 karbon emisyonu azaltma taahhüdünde bulunmuştur. Bu hedef doğrultusunda, 12 Nisan 2022 tarihinde İstanbul Büyükşehir Belediyesi iştiraki olan İstanbul Enerji A.Ş. ile birlikte başlatılan SECAP çalışmaları tamamlanmıştır. Çalışma 29 Mart 2023 tarihinde kamuoyuna sunulmuştur. Yayımlanan plan raporunda, Çorlu Belediyesi ve paydaşlarının sabit enerji, ulaşım ve atık yönetimi gibi alanlarda gerçekleştireceği eylemler yer almaktadır.

Çorlu SECAP çalışması kapsamında sera gazı emisyonlarının %40 oranında düşürülmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda ilçe içerisinde GES projeleri planlanmıştır. Bu kapsamda, Çorlu ilçesi idari sınırları içerisinde yürütülen SECAP çalışmaları, 2019 yılını baz (referans) yıl olarak belirlemiştir. Bu dönemde toplam sera gazı emisyonu 1.701.854tCO₂e olarak kaydedilmiş olup, sektör bazlı dağılımda sabit enerji sektörü 1.436.860tCO₂e ile %84,4’lük payla en yüksek etkiye neden olmuştur.

Bu tez kapsamında hazırlanan örnek alan çalışmasında, sabit enerji kaynaklarından kaynaklanan emisyon miktarlarının, GES kurulumları ile üretilcek temiz enerji sayesinde azaltılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, lisanssız enerji üretim tesisi olarak sanayi tesis çatısına entegrasyonu yapılabilecek pilot bir çatı kurulumu GES

projesi ele alınacaktır. Bu örneğin kent içerisinde yer alan sanayi tesislerine uygulanması ile sürdürülebilir enerji hedeflerine katkıda bulunulması amaçlanmaktadır. Bu projede, sanayi tesisinin enerji ihtiyacının bir kısmının güneş enerjisi ile karşılanması planlanmakta olup, böylece hem enerji maliyetlerinin azaltılması hem de çevreye verilen zararın minimuma indirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, proje kapsamında üretilen temiz enerji ile karbon ayak izinin azaltılması da öngörülmektedir.



3

ENERJİ ÜRETİMİNDE FOTOVOLTAİK SİSTEMLER VE MEVZUAT GEREKLİLİKLERİ

3.1 Yenilenebilir Enerji Üretimi İçin Mevzuat

Türkiye'de şebeke bağlantılı yenilenebilir enerji tesislerinin kurulması ve işletilmesi, çeşitli yönetmelik ve kanunlar kapsamında yürütülmektedir. 1990'lara kadar kamu kurumları tarafından tek elden yönetilen elektrik piyasası, üretim ve dağıtım faaliyetlerinin ayrılmasıyla değişime uğramış, 2000'lerde serbestleşme adımları atılmıştır. Bugün TEDAŞ, TEİAŞ, EÜAŞ ve EPDK gibi kurumlar piyasada rol oynamaktadır. 2013'te TEDAŞ'a bağlı elektrik dağıtım şirketleri özelleştirilmiş ve 20 bölgeye ayrılmıştır. 2015 yılında ise 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu çerçevesinde piyasa işlemlerini yönetmek üzere EPIAŞ kurulmuştur [50].

6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ve 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kanunu enerji üretim kapsamında yayınlanan kanunlardır.

6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu, 30 Mart 2013 tarihinde yürürlüğe girmiş olup Türkiye'deki elektrik piyasasına önemli değişiklikler ve teşvikler getirmiştir. Kanun, lisans almadan faaliyet gösterebilecek yenilenebilir enerji tesislerinin azami kurulu gücünü 500 kW'tan 1MW'a çıkarmıştır. Ayrıca, Bakanlar Kurulu'nun aldığı bir karar ile bu limitin 5 kata kadar (5MW) yükseltilebilmesine olanak sağlamıştır. Kanun, şebekeye enerji vermeden kendi tüketimini karşılayan yenilenebilir enerji tesisleri için herhangi bir sınır uygulamamaktadır. Bu tesisler, kendi enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla GES, RES vb. gibi yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretebilirler. Bu yenilikler, yenilenebilir enerji sektörünün gelişimini teşvik etmek açısından önemli olarak karşılanmıştır.

2005'te yürürlüğe giren 5346 sayılı Kanun, Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde kullanılmasını teşvik eden temel yasadır. Kanun, yenilenebilir enerji kullanımını artırmayı, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmayı, sera gazı salınımını düşürmeyi ve çevre koruma önlemlerini desteklemeyi amaçlar. Ayrıca, gerekli ekipman ve teknoloji imalat sektörünün gelişimini teşvik eder [51]. Kanun aynı zamanda alım garantisi ve fiyat garantisi gibi destekleri de içererek Türkiye'nin yenilenebilir enerji kullanımını artırmayı enerji arz güvenliğini sağlamayı ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemeyi hedeflemektedir [52].

6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'na dayanarak hazırlanan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimi Hakkında Yönetmelik 21 Temmuz 2011 tarihinde 28001 Sayılı Resmî Gazete ile yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmelik, lisanssız elektrik üretimiyle ilgili usul ve esasları belirlemektedir. Zaman içinde yapılan revizyonlar ile beraber son hali 14 Mayıs 2024 tarihli ve 32546 sayılı resmi gazete ile yayınlanmıştır. Yönetmeliğin amacı, elektrik piyasasında tüketicilerin elektrik ihtiyaçlarını kendi üretim tesislerinden karşılamalarını sağlamak, küçük ölçekli üretim tesislerini ülke ekonomisine kazandırmak ve bu kaynakların etkin kullanımını desteklemektir. Bu hedeflerle, lisans alma ve şirket kurma zorunluluğu olmaksızın, gerçek veya tüzel kişilere uygulanacak usul ve esasları belirlemektedir.

Bu tezde sunulacak GES projesi, Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliği kapsamındadır. Yönetmeliğe uygun olarak, bireylerin veya işletmelerin kendi elektrik ihtiyaçlarını yenilenebilir üretim kaynaklarından sağlaması hedeflenmektedir. Böylece tüketicilerin üretici pozisyonuna geçerek çevresel etkileri azaltmaları ve sürdürülebilir enerji kullanımına katkıda bulunmaları amaçlanmaktadır.

Lisanssız elektrik üretimi, enerji üretim santralleri ile tüketicilerin ihtiyaç duyduğu elektriği kendi tesislerinde üretebilmesine olanak sağlar.

Lisanssız olarak kurulacak yenilenebilir enerji üretim tesisleri ile, elektrik tüketim noktasına en yakın yerde üretim gerçekleştirildiğinde, enerji dağıtımı sırasında yaşanan kayıplar minimum seviyeye indirilir. Ayrıca, küçük ölçekli üretim tesisleri lisanstan muaf tutularak temiz enerji kullanımının artırılması ve yenilenebilir enerji santrallerinin ülke ekonomisine kazandırılması hedeflenir. Bu bağlamda, 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun 14. maddesinde lisanssız faaliyetler

belirlenmiş, Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'nin 5. maddesinde ise lisanssız elektrik üretimini gerçekleştirebilecek tesislerin detayları verilmiştir [53]. Bu düzenlemelerle, bireysel ve küçük ölçekli enerji üreticilerine yol açılarak enerji üretiminin çeşitlenmesi hedeflenmektedir.

Bu noktadan hareketle bu çalışma ile mevcut tesis çatısı kullanılarak elektrik enerjisi tüketim noktasında güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi hedeflenerek öztüketime karşılanması amaçlanmıştır.

Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'nin 5.1 Maddesi ile lisans muafiyeti bulunan tesisler açıklamaktadır. Tez çalışması kapsamında gözönünde bulundurulması gereken maddeler;

Madde 5.1.c Kurulu gücü 1MW veya Cumhurbaşkanı tarafından belirlenen üst sınırdaki olan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı tesisler

Madde 5.1.ç Ürettiği enerjiyi tamamen aynı ölçüm noktasında kullanan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı tesisler,

Madde 5.1.h Belediyeler, sanayi tesisleri ve tarımsal sulama amaçlı tesisler tarafından, bağlantı anlaşmasındaki sözleşme gücünün iki katına kadar olan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri,

olarak sıralanabilir.

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen pilot uygulama için bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu başvurusu 5.1.c maddesi kapsamında yapılması planlanmıştır. Projenin hayata geçirilmesi noktasında, ilgili bölgede faaliyet gösteren, TREDAS tarafından yayınlanan başvuru formu, tesis sahibi ve planlanan üretim tesisi bilgileri eklenerek hazırlanması gerekmektedir. Başvuru formunun yanında tüzel kişiyi temsile yetkili kişi için yetki belgesi, enerji üretim tesisinin kurulacağı yere ait tapu, mevcut tüketim tesisine ait tekil kod, tüketim tesisine ait onaylı elektrik projesinin kapağı, inşaat ruhsatı, tasarlanan GES sisteminin ve bağlantı noktasının gösterildiği tek hat şeması, ETKB Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan teknik değerlendirme formu, LİHKAB ya da harita mühendisi onaylı santralin kurulacağı alanın köşe koordinatlarını gösteren aplikasyon haritası ve ayrıca başvurunun işleme alınabilmesi için gerekli başvurunun yapıldığını gösteren dekont da bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu başvuru dosyasına eklenmesi gerekmektedir. Bu uygulamada sanayi tesisinin ortaklık yapısında olmadığı varsayılmıştır.

2019 yılında Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'nde yapılan değişikliklerle, bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu alan üreticilerin mahsuplaşma yöntemleri ve alım garantisi süreçleri yeniden düzenlenmiştir.

Daha sonra 2022 yılında yapılan düzenlemeyle ise, bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu alan üreticilerin ihtiyaç fazlası enerji miktarı üzerinden faydalanabilme kriterleri güncellenmiştir. Ayrıca, üretim tesislerinin farklı dağıtım bölgelerinde kurulabilmesine ilişkin düzenlemeler getirilmiştir. Bu sayede, üretim tesislerinin coğrafi sınırlamalardan bağımsız olarak daha esnek bir şekilde kurulabilmesi sağlanmıştır.

14 Mayıs 2024 tarihinde yayınlanan resmi gazete ile duyurulan bazı değişiklikler ise aşağıdaki gibi açıklamıştır.

Değişiklik Yönetmeliği ile, "Bağlantı esasları" başlıklı 7. maddede geçici abonelikler kapsamındaki mahsuplaşmaya ilişkin düzenleme yapılmıştır. 7. maddenin on ikinci fıkrasına göre, inşa halindeki tüketim tesisleri hariç, geçici bağlantı kapsamındaki tüketim tesislerinde gerçek veya tüzel kişiler üretim tesisi kuramaz. Ancak, Değişiklik Yönetmeliği ile eklenen düzenleme, geçici abonelikler kapsamındaki tüketimlerin, aynı gerçek veya tüzel kişiye ait ve aynı abone grubundaki üretim tesisleriyle mahsuplaşmaya dahil edilebileceğini belirtmiştir.

Yönetmelik'in "Bağlantı anlaşması başvurusu" başlıklı 17. maddesinde yapılan değişiklikle, ÇED ve ilgili belgeleri başvuru sahiplerinin sunması gereken belgeler arasından çıkarılmış ve bu belgeleri zamanında temin edemeyenlere ek süre verilmesi hükmü kaldırılmıştır. ÇED sürecinin proje onay sürecinde tamamlanması olanağı getirilmiştir.

Eski metinde bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu tebliğ edilenlere proje dosyasının onaylatılması için verilen süre 180 gün iken, Değişiklik Yönetmeliği ile bu süre 1 yıl olarak belirlenmiştir. Bu 1 yıl, ÇED, imar ve diğer izinlerin alınması süresini de kapsar. Değişiklikle, belgelerini 1 yıl içinde sunmayan başvuru sahiplerinin bağlantı anlaşması imzalama hakkı iptal edilip belgeleri iade edileceği belirtilerek ek süre tanımlanmamıştır.

"Bağlantı anlaşması başvurusu" başlıklı 17. maddeye eklenen fıkra ile 12.05.2019 tarihinden önce bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu almaya hak kazanan üretim tesisleri için mekanik kurulu güç artışı, elektriksel kurulu gücün %20'sini aşamaz

ve 12.05.2019 tarihinden sonrası için elektriksel kurulu gücün iki katını geçemez ibaresi eklenmiştir.

Lisanssız üretim tesislerinde güç artışı hariç tek bir kabul yapılabileceği ve 10MWe'den az olmamak üzere kısmi kabul yapılabileceği belirtilmiştir. Kabulü yapılmayan kısım, süresi içinde kabul edilmezse güncellenecektir.

Kabulü tamamlanıp işletmeye alınan tesislerde SKA imzalanmazsa, bir ay içinde üretilen enerji YEKDEM'e bedelsiz katkı olarak sayılacak ve sistem kullanım bedeli görevli tedarik şirketi aracılığıyla ödenecek, lisanssız üretim tesisi sahiplerine fatura kesilmeyecektir.

Kabulü yapılan tesislerin mücbir sebep hallerinde saha değişikliğine olanak tanınacaktır.

Bu düzenlemelerin amacı, lisanssız elektrik üretimini teşvik etmek, enerji arz güvenliğini sağlamak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmaktır. Ancak, bu süreçte yaşanan sorunlar ve piyasadaki dinamikler doğrultusunda düzenlemelerin sürekli olarak gözden geçirilmesi ve iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu şekilde, elektrik piyasasında lisanssız elektrik üretiminin daha verimli ve sürdürülebilir hale gelmesi sağlanacaktır.

3.1.1 Türkiye'de Lisanssız Güneş Enerji Santrali Resmi Süreçleri

Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı lisanssız elektrik üretimi yapmak isteyen kişi ya da şirketler ilgili Lisanssız Elektrik Üretimi madde 10/1'e göre ilgili şebeke işletmecisine başvurmalıdır. Şebeke işletmecisi, başvuru sahibinin durumuna göre ya TEİAŞ ya da bir dağıtım şirketi veya organize sanayi bölgesi dağıtım lisansına sahip bir kuruluş olabilir. Başvuruda, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından belirlenen bilgi ve belgelerin sunulması gerekmektedir [52].

Lisanssız elektrik enerjisi üretim tesislerinin başvuru ve kabul aşamalarında rol oynayan elektrik dağıtım şirketleri EPDK tarafından özelleştirilerek her bölge için ayrı olarak görevlendirilmiştir. Mevcutta 21 adet elektrik dağıtım anonim şirketi hizmet vermektedir.

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen örnek çalışma için görevli tedarik şirketi Trakya Bölgesinde faaliyet gösteren TREDAS'tır.

İlgili EDAŞ lisanssız enerji santrali kurulumu için yapılan başvuruları değerlendirmek ve uygunluk denetimi yapmak ile yükümlüdür. Bu başvurular bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu verilmesi kapsamında lisanssız enerji santrali kuracak olan gerçek ya da tüzel kişi tarafından yapılır. Başvuruların olumlu karşılanması neticesinde enerji santralinin dağıtım şebekesine bağlantısı için gerekli bağlantı anlaşmalarını düzenler ve imzalar. Enerji santrallerinin kabul aşamasında da aktif rol alır. Ayrıca, mahsuplaşmanın doğru yapılabilmesi için sayaçların kurulumu, üretim ve tüketim verilerinin ölçümü ve takibi EDAŞ tarafından yapılır. Bu veriler düzenli olarak EPIAŞ'a elektronik olarak aktarılır ve lisanssız üreticilerin net enerji miktarları hesaplanır. EPIAŞ'a bildirilerek Dengeleme güç piyasası oluşturulur ve uzlaştırma işlemleri yürütülür.

Elektrik dağıtım lisansı olan OSB'ler de lisanssız enerji üretim santralleri başvurularında EDAŞ gibi sorumluluklara sahiptirler.

Lisanssız enerji üretim santrallerinin kurulabilmesi için ilk adım bağlantı anlaşmasına çağrı mektubunun santral kurulumunun yapılacağı bölgede görev alan EDAŞ'a başvurularak alınmasıdır. Bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu başvurusu için gerekli olan doküman listesi her EDAŞ'a ait internet sayfasında yayınlanmaktadır.

Bu tez kapsamında, Çorlu ilçesinin TREDAS bölgesinde bulunmasından dolayı, bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu başvurusu TREDAS tarafından yayınlanan evraklar dikkate alınarak yapılmalıdır. Bu evraklar, TREDAS'ın ilgili yenilenebilir enerji santral kurulumuna onay verebilmesi için gerekli teknik değerlendirmeleri, mevzuat uyum süreçleri, dağıtım altyapısına yönelik düzenlemeleri, kurulum yapılacak bölge ve tesis ile ilgili bilgileri elde etmeye yöneliktir.

Bağlantı anlaşmasına çağrı mektubunun alınabilmesi için ilgili başvurular ilgili EDAŞ tarafından evrak ve teknik yönden olmak üzere iki basamakta incelenir. Evrak yönünden değerlendirmeyi geçen başvurular teknik değerlendirme aşamasına geçer. Teknik değerlendirme raporu olumlu olan güneş enerjisi başvurularına ait bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu, ilgili şebeke işletmecisi tarafından bir ay içinde ilgililere tebliğ edilir.

Rüzgar veya güneş enerjisine dayalı başvurulardan teknik değerlendirmeye uygun bulunanlar, bu tarihten itibaren on iş günü içinde YEPDİS sistemine kaydedilir ve

EİGM ile paylaşılır. EİGM, teknik değerlendirmeyi en fazla otuz gün içinde tamamlayarak sonucu ilgili dağıtım şirketine iletir. Olumlu değerlendirilen başvurular için bağlantı anlaşmasına ilişkin çağrı mektubu, ilgili şebeke işletmecisi tarafından ilgili kişinin yazılı başvurusu üzerine bir ay içerisinde tebliğ edilir.

Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'nin 17. maddesinin 1. fıkrasında [52] belirtilen; “Kendisine bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu tebliğ edilenlere, bağlantı anlaşmasına çağrı mektubunun tebliğ tarihinden itibaren bir yıl süre verilir”. Bu süre 14 Mayıs 2024 tarihi öncesinde 180 (yüzseksen) gün olarak belirtilmekteydi. Bir yıl içerisinde ilgili başvuru sahibi tesis edilecek enerji santrali ile ilgili elektrik ve statik proje dosyasını hazırlayarak ilgili EDAŞ/TEDAŞ kurumlarına onaylatmaları gerekmektedir. Bu süre içerisinde ilgili belgelerin sunulmaması durumunda başvuru sahibinin talebi iptal edilerek daha öncesinde sunmuş olduğu belgelerin teslimi sağlanır. Projelerin onaylanmasına istinaden EDAŞ ve başvuru sahibi arasından bağlantı anlaşması imzalanmaktadır. Bağlantı anlaşmasının imzalanmasına müteakip başvuru sahibi enerji santralinin fiziki kurulumunu yapabilmek adına gerekli izin süreçlerini tamamlamış olacaktır.

Bu tez kapsamında mevcut bina ve tesis çatılarına yapılacak olan güneş enerjisi santral kurulumları anlatılacaktır. Bu kapsam ÇED'ten muaf olduğundan dolayı başvuru süreçlerinde ÇED sürecine değinilmemiştir.

AG seviyesinden yapılan başvurular için bir yıl, OG seviyesinden yapılan başvurular için iki yıl, OG seviyesinden yapılan hidrolik kaynaklı üretim tesisleri ve kamu kurumları tarafından kurulan üretim tesisleri için üç yıl, diğer kaynaklara 2 yıl üretim santrali kurulum hakkı verilmektedir [52]. Burada sunulacak olan pilot GES tesisinin bağlantısı OG seviyesinden gerçekleştirilecektir. Herhangi bir ilave transformatör yatırımı yapılmadan tesisin var olan trafosu şebeke bağlantısı için kullanılacağı varsayılmıştır.

Kabulü tamamlanarak işletmeye alınan lisanssız GES projeleri için ticari faaliyete başladığı tarihi izleyen bir ay içinde SKA imzalanmazsa, şebeke işletmecisi üretim tesisini şebekeden ayırır. Bu süreçte üretilen enerji, görevli tedarik şirketi tarafından sisteme verilmiş kabul edilerek YEKDEM'e bedelsiz katkı olarak değerlendirilir. Bu enerji miktarının sistem kullanım bedeli, görevli tedarik şirketi aracılığıyla şebeke işletmecisine ödenir ve lisanssız üretim tesisi sahiplerine fatura tebliğ

edilmez. SKA imzalanma süresinin takibi yatırımcı sorumluluğundadır [52]. Burada şebeke işletmecisi ilgisine göre TEİAŞ'ı, dağıtım şirketini ya da OSB dağıtım lisansı sahibi tüzel kişiyi ifade etmektedir. Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışma için TREDAS şebeke işletmecisi konumundadır.

Lisanssız olarak kurulumu gerçekleştirilebilen GES'ler için mevcut yönetmelikler gözönüne alındığında yapılacak bazı değişiklik sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji dönüşümünde önemli adımların atılmasını sağlayacaktır. Bu değişikliklerin kapsamı aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.

Çatı üzeri uygulamalar için resmi işlem sürelerinin kısaltılarak kurulum sürecine geçişin kolaylaştırılması

EPDK tarafından hazırlanan Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği, tüketicilerin kendi elektriğini üretmesini destekler ve yenilenebilir enerji santrallerinin sayısını artırmayı hedefler. Çatı uygun değilse, üretim ve tüketim noktalarının farklı olmasına izin verir, sanayi tesislerine ise sözleşme gücünün iki katına kadar lisanssız santral kurma imkanı tanır. Aylık mahsuplaşma sistemi ile tüketicilere gelir sağlanır, ancak fazla üretim durumunda piyasa sorumluluğunun olmaması enerji güvenliği riski oluşturabilir. Talep toplayıcıları, yenilenebilir enerji arz ve talebini dengeleyerek piyasalara entegrasyonu güçlendirebilir [2].

Türkiye'deki mevcut konut tipi apartmanlara uygun olarak çatı üstü GES uygulamalarında dağıtık enerji üretim sistemlerinin yaygınlaştırılması kapsamında mevzuatsal düzenlemeler yapılmalı ve kentsel alanlardaki enerji dönüşümü hızlandırılmalıdır.

Çatı üstü GES kurulumu için özellikle ev sahibi ve kiracılara özel finansal destekler ve yatırım modelleri sunulmalıdır.

3.2 Fotovoltaik Enerji Üretim Tesisi

Bu tezde, fotovoltaik güneş panelleri kullanılarak tasarlanan şebekeye bağlı GES projeleri ele alınacaktır.

Şebekeye bağlı olarak tüketim noktasında tesis edilen fotovoltaik enerji üretim sistemleri, enerjiyi karbondan arındırılmış şekilde üretme ve kullanma potansiyeli sunar. Bu özellikleri ile çevresel etkinin azalmasında ve enerji güvenliğinin artmasında olumlu etkiler sağlamaktadır.

3.2.1 Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik sistemler, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yapılardır. 1970'lerde geliştirilmeye başlanan bu sistemler, teknolojik ilerlemelerle maliyetlerin düşmesini sağlamış ve çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak daha kabul edilir hale gelmiştir. Fotovoltaik sistemlerin enerji üretim kapasitesi güneşten gelen ışıınım yani enerji ile doğrudan bağlantılıdır. Güneş enerjisi, hidrojen gazının helyuma dönüşmesiyle güneşin çekirdeğinde gerçekleşen füzyon süreci sonucu açığa çıkan ışıma enerjisidir. Dış uzayda, güneş enerjisinin yoğunluğu yaklaşık olarak 1370W/m^2 'dir [54].

Bir fotovoltaik sistem, PV panellerden, PV paneller ise birbirine seri ve paralel bağlı PV hücrelerden meydana gelmektedir.

Tek bir fotovoltaik hücre genellikle küçük bir miktarda elektrik üretir. Gerekli gücün elde edilebilmesi için çok sayıda hücre seri veya paralel olarak birbirine eklenir. Seri bağlantı, hücrelerin voltajını artırırken, paralel bağlantı akımı artırır. Bu şekilde bir araya getirilen hücreler, fotovoltaik panel adı verilen bir yapı oluşturur. Hücreler, busbar ve ribonlar ile birbirine bağlanır. PV paneller bypass diyotları içeren junction box yardımı ile birbirlerine bağlanarak bir sistem oluşturur.

3.2.2 Fotovoltaik Hücre ve Modeli

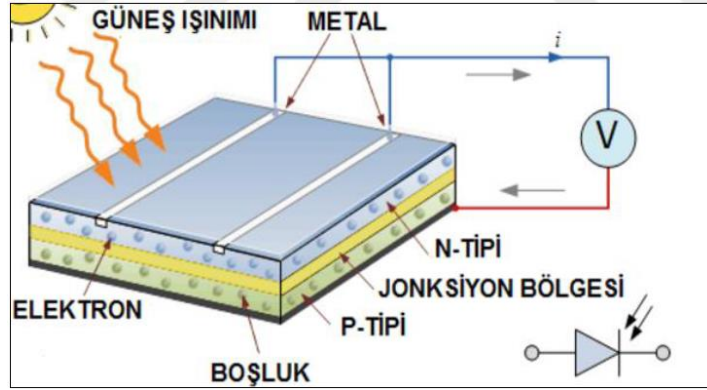
Güneş enerjisinden elektrik enerjisine dönüşümde kullanılan PV paneller hücrelerden oluşmaktadır. Fotovoltaik hücreler, fotonların bir yarı iletken içerisinde bulunan serbest elektronları uyarak harekete geçirmesi ile elektrik akımı oluşturur [55]. Yarıiletken malzemenin PV hücre olarak çalışması için. PV ilkesinin gerçekleşmesi gerekir. Bu süreçte, P ve N bölgelerindeki yarıiletken malzemeye gelen güneş fotonları, yarıiletken atomlarında elektronların hareketine neden olur. Bu işlem sonucunda, elektronlar ve bu elektronların bıraktığı boşluklar, hücre içinde ayrılır ve bir elektrik akımı oluştururlar [56].

Üretilen elektrik akımı doğru akım formundadır ve elektrik akımının büyüklüğü, güneş ışıınım şiddeti, hücre ve çevresel sıcaklığa bağlı olarak değişkenlik gösterir.

PV hücresi, ihmal edilebilir dirençlere sahip olduğunda, ideal bir akım kaynağına benzer ve paralel bir diyot ile birlikte bir doğrultucu diyot oluşturur.

Bu düzenek, PV hücresinin güneş ışığına maruz kaldığında bir akım üretmesini sağlar, bu akım güneş ışığının yoğunluğuna ve diğer faktörlere bağlıdır.

PV hücrenin yapısını Şekil 3.1 ile verilmiştir [57].



Şekil 3.1 PV hücre yapısı

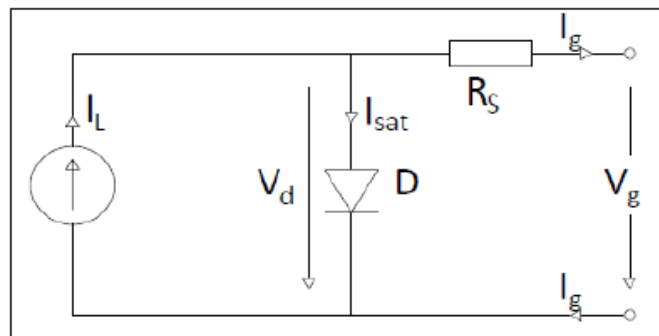
Bu düzenekte, kısa devre akımı durumu ve açık devre gerilimi durumu olmak üzere iki ana durum vardır. Kısa devre akımı durumunda, hücrenin terminalleri kısa devre edildiğinde, akımın en yüksek değerine ulaşmasıdır [58].

Açık devre gerilimi durumunda hücrenin terminalleri açık devrede olduğunda, terminaller arasında oluşan gerilim en yüksek değere ulaşmasıdır. Bu, ideal bir akım kaynağında tüm akımın kısa devre terminallerinden geçtiği anlamına gelir.

İdeal bir PV hücre, bir diyot ve paralel bir akım kaynağı kullanılarak modellenenabilir. Akım kaynağı fotoakımı I_L 'yi oluşturur ve I_L solar ışık şiddeti ile doğrudan orantılıdır.

Diyot bu devrede fotovoltajik pilin P-N jonksiyonunu göstermektedir.

Şekil 3.2 ile bir PV Hücresinin tek diyotlu eşdeğer devresi verilmektedir.



Şekil 3.2 PV hücre tek diyot eşdeğer devresi

I_{sat} diyot akımı gerilime ve sızıntı akımı I_0 'a bağlıdır. I_{sat} akımı için eşitlik Denklem (3.1) ile verilmiştir.

$$I_{sat} = I_0 \left(\exp \left(\frac{qV}{nkT} \right) - 1 \right) \quad (3.1)$$

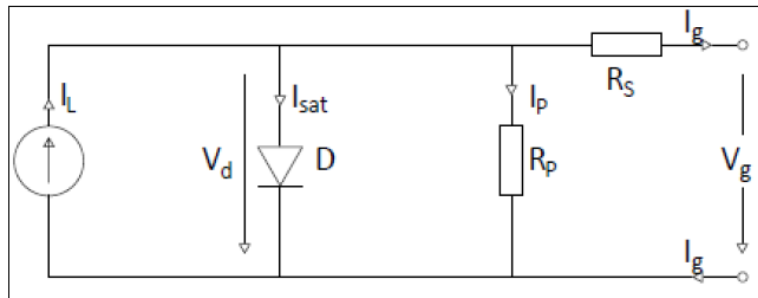
Kirchhoff'un akım kanununu kullanılarak eşdeğer devrenin I-V denklemi Denklem (3.2) ile elde edilebilir.

$$I_g = I_L - I_{sat} = I_L - I_0 \left(\exp \left(\frac{qV}{nkT} \right) - 1 \right) \quad (3.2)$$

$$q = 1,6 \times 10^{-19}$$

$$K = 1,3805 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

PV hücrelerin doğru bir şekilde modellenmesi için seri ve paralel dirençlerin eklenmesi gerekliliği yapılan çalışmalarla belirlenmiştir [59, 60]. Bu nedenle, ideal bir PV hücre modeli oluşturmak için tek diyotlu PV hücre eşdeğer devresine ilgili dirençlerin eklenmesi gerekmektedir. Bu eklenen dirençler, hücrenin gerçek dünya koşullarında daha doğru sonuçlar vermesini ve modellenen hücrenin gerçek davranışına daha yakın olmasını sağlar [60, 58]. İlgili dirençler eklenerek oluşturulan devre Şekil 3.3 ile verilmiştir [58].



Şekil 3.3 PV hücre eşdeğer devresi

I_L fotovoltaik pil üzerine düşen ışık radyasyonu ile doğru orantılıdır.

I_p paralel kol akımı paralel kol direncindeki gerilim etkisi ile ortaya çıkan akımdır.

$$I_p = \frac{V_d}{R_p} = \left(\frac{V_g + I_g R_s}{R_p} \right) \quad (3.3)$$

I_g hücreden çıkış akımı denklem 3.4 ile verilmiştir.

$$I_g = I_L - I_{sat} - I_p \quad (3.4)$$

Denklem (3.2) ve Denklem (3.3), Denklem (3.4)'te yerine koyulursa Denklem (3.5) aşağıdaki gibi elde edilir.

$$I_g = I_L - I_o \left(\exp \left(\frac{q(V_g + I_g R_s)}{n k T} \right) - 1 \right) - \frac{V + I R_s}{R_p} \quad (3.5)$$

Denklem (3.5) ile bir PV hücresi için matematiksel model elde edilmiştir.

PV hücrenin matematiksel modelinin amacı, hücrenin elektriksel davranışını ve performansını doğru bir şekilde analiz etmektir. Bu model, bir PV hücresinin belirli çevresel koşullar altında (örneğin, ışıınım ve sıcaklık) nasıl çalışacağını tahmin etmek ve optimize etmek için kullanılır.

PV hücresinin matematiksel modeli, hücrenin akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristiklerini elde etmeye olanak tanır. Model, bir PV hücresinin Voc ve Isc değerlerini elde ederek MPP'nin belirlenmesine yardımcı olur. Matematiksel model aynı zamanda PV hücrenin sıcaklık, ışıınım, gölge etkisi gibi çevre koşullarından nasıl etkilendiğinin anlaşılmasına yardımcı olur.

Bu tez çalışmasında PV sistemin performansını etkileyecek çevre koşullarına dikkat edilerek tasarım yapılmıştır. Bu tasarımın temelinde PV hücre elektriksel modeli baz alınarak sistem boyutlandırması yapılmıştır. Sonuç olarak, bu model PV sistem tasarımı için performansını, verimliliğini ve çevresel koşullara tepkisini doğru bir şekilde tahmin etmek, optimize etmek ve geliştirmek için temel oluşturur.

3.2.3 Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası

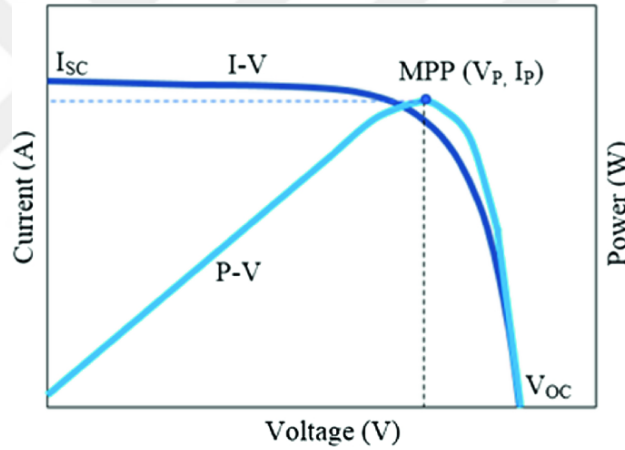
PV panellerden elde edilen gücün miktarı güneş ışığı, sıcaklık, gölgelenme gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Bu nedenle, PV panelin üretebileceği maksimum güç günün farklı saatlerinde farklı değerlere ulaşır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilebilecek güç üretimi kaynağa direkt bağlı olduğundan her zaman maksimum güçte üretim yapılması amaçlanır.

PV hücreler, yarı iletken malzemelerden yapılmıştır ve doğrusal olmayan karakteristiklere sahiptirler. Bu hücreler, yükün büyüklüğüne, sıcaklığa ve ışıınım seviyesine bağlı olarak anlık olarak değişen bir güç sağlarlar. En yüksek performansı elde etmek için, verimliliği etkileyen fiziki ortam parametrelerini en uygun şekilde analiz etmek ve yönetmek önemlidir. Ayrıca, PV panelleri sürekli olarak maksimum güç noktasında çalışacak şekilde kontrol etmek için güç elektroniği yöntemleri kullanmak da gereklidir [55].

MPPT, PV sistemlerde, PV panellerinin mevcut çevresel koşullar altında maksimum güç çıkışını sağlayacak şekilde çalışmasını sağlayan bir teknolojidir. PV panellerin ürettiği enerji, güneş ışınımı, sıcaklık ve diğer faktörlere bağlı olarak sürekli değişir. Bu değişken koşullar altında, PV panellerin maksimum verimlilikte çalışmasını sağlamak için MPPT algoritmaları kullanılır.

MPPT sistemi, PV panelinden gelen çıkış akımını ve gerilimini sürekli olarak izleyerek her ölçümde PV panelin çıkış gücünü hesaplar ve bu gücü, daha önceki ölçümlerle karşılaştırır. Algoritma, güneş panelinin maksimum güç ürettiği noktayı bulmaya çalışır.

MPP prensibinin ve PV hücrelerin çalışmasının anlaşılabilmesi için, PV hücre akımının gerilime göre değişimi (I-V) karakteristiğinin anlaşılması oldukça önemlidir. Hücre akımının gerilime göre değişim karakteristiği ve MPP noktası Şekil 3.4 ile verilmiştir [55].



Şekil 3.4 PV hücre I-V karakteristiği

I_{sc} , hücre üzerindeki yük bağlantısı kısa devre edildiğinde akımın maksimum değeridir. Bu durumda gerilim sıfırdır. Şekil 3.3 ile verilen V_g gerilimi bu şartlarda 0'dır.

V_{oc} , hücre üzerindeki yük bağlantısı açık devrede olduğunda gerilimin maksimum değeridir ve bu durumda akım 0'dır. Şekil 3.3 ile verilen I_L akımı bu şartlarda 0'dır.

M_{pp} , güç karakteristiğindeki maksimum noktadır. Bu noktada hem gerilim hem de akım optimum değerlerindedir.

I_{mpp} , maksimum güç noktasında elde edilen akım değeridir.

V_{mpp} , maksimum güç noktasında elde edilen gerilim değeridir.

MPP ve MPPT PV sistemin maksimum güç çıkışını sağlayabilmesinde önemli kavramlardır. Bu tez kapsamında tasarlanan çalışmada sistemin MPP seviyesinde çalışabilmesini sağlayacak solar inverterler ve optimizörler kullanılmıştır.

3.2.4 Fotovoltaik Sistemler ve Işınlım Miktarı

Fotovoltaik sistemlerden elektrik enerjisi üretiminde iki önemli faktör güneşlenme süresi ve güneş ışınlım değeridir. Türkiye ortalama güneşlenme süresi bakımından zengin bir konumdadır [61].

Türkiye Ortalama Global Güneş Radyasyonu Dağılımı Şekil 3.5 ile verilmiştir [61].



Şekil 3.5 Türkiye ortalama global güneş radyasyonu dağılımı (kWh/m²/gün)

Güneş ışınları, yeryüzüne direkt ve difüz radyasyon şeklinde ulaşır. Direkt radyasyon, atmosferde saçılmadan doğrudan yüzeye ulaşan ışımadır. Difüz radyasyon ise atmosfer ve bulutlar tarafından saçılarak yüzeye ulaşır. Global güneş radyasyonu ise direkt ve difüz radyasyonun toplamını ifade eder. Güneş enerjisi sistemlerinin kurulumunda, güneş radyasyonu ve güneşlenme süreleri gibi verilerin bilinmesi önemlidir. Güneşlenme süresi, bir bölgeye günlük, aylık veya yıllık olarak düşen güneş ışığı süresini belirten bir değerdir. Genellikle saat/gün veya ortalama saat/gün olarak ifade edilir [62].

Güneş ışınları alan başına düşen güç miktarını ifade eder. Birim olarak kW/m² veya W/m² cinsinden ölçülür. Güneş ışınlım değeri, bölgenin coğrafi konumuna ve mevsime göre değişir. Güneş panellerinin üreteceği toplam güç, panelin nominal

gücü ile panel sayısı ve güneş ışını gücü arasındaki ilişkiyle hesaplanır. PV panellerinin maksimum güneş ışığı alması için en uygun eğim açısı, bölgenin enlemine ve yıl boyunca güneş yüksekliğine bağlı olarak belirlenir. MGM tarafından 2004-2021 yılları için hazırlanan Türkiye Ortalama Global Güneş Radyasyonu Dağılımı Şekil 3.6 ile verilmiştir [61].



Şekil 3.6 1991-2020 aylık ortalama güneşlenme süresi (saat/gün)

2020 yılı için MGM tarafından belirlenen günlük ortalama güneşlenme süresi 6,81saat/gün'dür [61] ve 1991-2020 yılları arası için Şekil 3.7 ile verilmiştir [63].



Şekil 3.7 Yıllık ortalama güneşlenme süresi (saat/gün)

ETKB tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'nda ışıınım ve güneşlenme sürelerinin yıllık ve günlük verileri sunulmuştur bu veriler Tablo 3.1 ile gösterilmektedir [51].

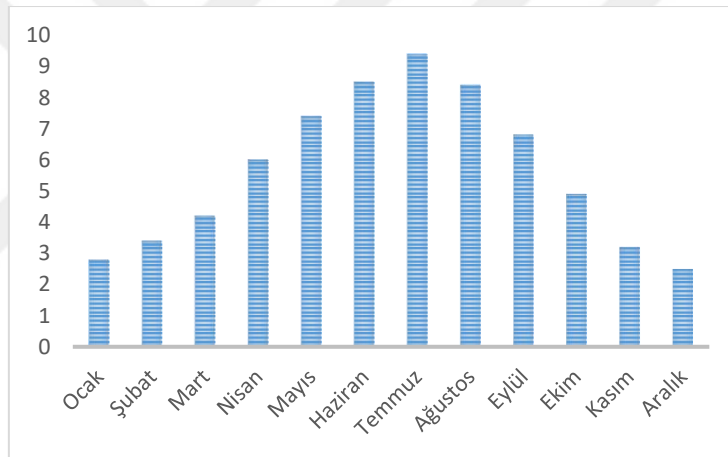
Tablo 3.1'de sunulan veriler, GES kurulumlarının uygunluğunu değerlendirme açısından önemli verilerdir.

Bu verilere dayanarak, Türkiye'nin ışıınım değerlerinin genel olarak GES kurulumuna uygun olduğu ve GES kurulumunun enerji üretiminde verimli olacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 3.1 Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlasına göre veriler

Ortalama yıllık olarak toplam güneşlenme süresi	2741,07 saat/yıl
Ortalama günlük olarak toplam güneşlenme süresi	7,50 saat/gün
Ortalama yıllık olarak toplam ısıtım şiddeti	1527,46 kWh/m²/yıl
Ortalama günlük olarak toplam ısıtım şiddeti	4,18 kWh/m²/gün

Bu tez kapsamında, Tekirdağ ilinin Çorlu ilçesinde sera gazı emisyonlarını azaltmayı amaçlayan bir sanayi tesisi için uygulanabilecek bir GES projesi tasarlanmıştır. Projenin Çorlu'ya uygunluk değerlendirmesi yapılırken, MGM tarafından sağlanan aylık güneşlenme süreleri de dikkate alınmıştır. Şekil 3.8 ile verilen güneşlenme süreleri Tekirdağ ili geneli için sağlanmıştır.



Şekil 3.8 Tekirdağ ortalama güneşlenme süresi (saat/ay)

Sağlanan veriler 1940 ile 2023 yılı arasında alınmış ölçüm verilerinden oluşmaktadır [64]. Çorlu'da kurulacak proje için bu grafik üzerinden değerlendirme yapılmış olup MGM tarafından Çorlu'ya özel aylık bazlı ısıtım grafiği veya güneşlenme süresi verisi bulunamamıştır. Şekil 3.8'e göre en uzun güneşlenme süresi 9,4 saat ile temmuz ayına en kısa güneşlenme süresi 2,5 saat ile aralık ayına aittir. 12 ay için ortalama güneşlenme süresi 5,6 saat olduğu görülmektedir. Bu veriler ışığında Çorlu bölgesinin GES projelerinin kurulumu için elverişli olabileceği değerlendirilmiştir.

4

KENTSEL ALAN İÇİN PİLOT GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ VE EMİSYON AZALTIMINA ETKİSİ

4.1 Güneş Enerji Santrali Proje Planı

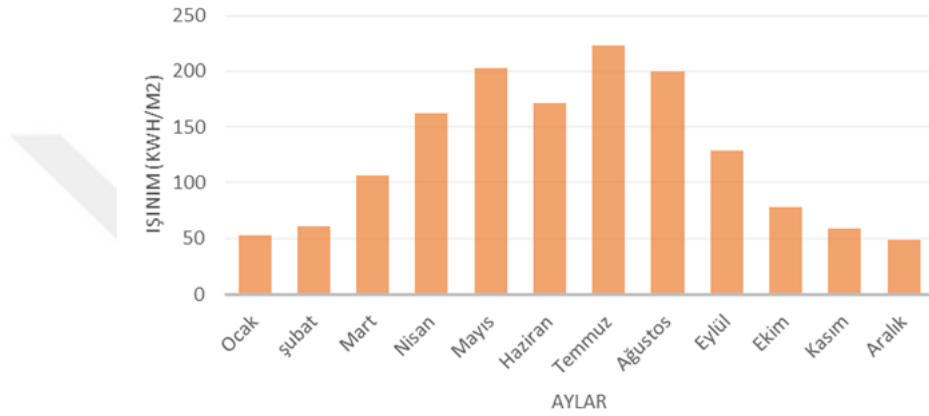
Türkiye genelinde yapılan ıslınım verileri incelemeı, GES kurulumu için uygun bölgelerin belirlenmesini sağlamıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda, Çorlu'nun GES projesi için uygun ıslınım değerlerine sahip olduğu anlaşılmıştır. Türkiye'deki ıslınım verilerinin analiz edilmesi ve Çorlu'nun pilot proje bölgesi olarak sečilmesi, tezin önemli bir aşamasını oluşturmaktadır.

Tez kapsamında, kentsel alanlarda yer alan yerleşim yerleri, sanayi tesisleri ve işyerlerinin yoğun olduğu bölgelerde yenilenebilir enerji üretimini desteklemek amacıyla mevcut yapıların çatı alanlarının değerlendirilmesi planlanmaktadır. Bu projeler genel olarak "Çatı GES" olarak adlandırılacaktır. Tez kapsamında, kentsel alanlardaki yoğun yapılaşma bölgelerinde, mevcut binaların çatı alanlarının yenilenebilir enerji üretimi için değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda, Çatı GES projeleri planlanmaktadır. Böylece, kentsel alanlarda yenilenebilir enerji üretiminin desteklenmesi, enerji üretiminin çeşitlendirilmesi ve sera gazı emisyonlarının kent içerisinde azaltımı amaçlanmaktadır. Amaçlanan bu faydaların yanında kentsel alan içerisindeki arazilerin sürdürülebilirliği de gözetilmiştir.

GES entegrasyonunun gerçekleştirilebilmesi için izlenmesi planlanan aşamalar genel olarak şu şekilde belirlenmiştir:

İlk adım, GES kurulumu için yer seçimi ve alanın değerlendirilmesidir. Bu aşamada kurulum alanının güneş ışığına maruz kalma süresi, yerel iklim koşulları ve çevresel etmenler gibi faktörler değerlendirilir. Bu çalışma kapsamında kurulum bölgesi için

iklim şartları ve ışıınım süreleri değerdendirildiğinde güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin uygun olduğu sonucuna varılmıştır. PVGIS veri tabanından elde edilen bölgenin ışıınım verileri Şekil 4.8 ile verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi, ışıınım değerdeleri kış aylarından yaz aylarına doğru artış göstermektedir. Haziran ayında düşüş görülen ışıınım değeri, temmuz ayında en yüksek seviyeye ulaşmaktadır. Temmuz ayından itibaren aralık ayına kadar ise ışıınım değerdeleri kademeli olarak azalmaktadır. Bu veriler doğrultusunda, en yüksek ışıınımın temmuz ayında, en düşük ışıınımın ise aralık ayında gözlemlenmesi beklenmektedir.



Şekil 4.1 Kurulum bölgesi yıllık ışıınım grafiğı

Güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında, güneşin konumu ve açısı dikkate alınarak hesaplamalar yapılır. Düzlemin yerleşimi ve eğimi gibi faktörler, güneşin yüzey üzerindeki ışıınımını etkiler. Dolayısıyla, güneşin konumunu belirlemek ve bu faktörleri hesaba katmak, doğrudan güneş ışıınlarının alınması için önemlidir. Bu nedenle, güneşin pozisyonunu doğru bir şekilde belirlemek, güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğı için kritik öneme sahiptir.

PV panellerin konumlandırılması ve eğim açısının belirlenmesi bir diğerd tasarım aşamasıdır. Güneş panellerinin konumlandırılması, maksimum güneş ışığına maruz kalması için önemlidir. Panellerin yerleştirileceğı açı ve eğim, güneşin yıl boyunca hareketi ve yılın farklı mevsimlerindeki ışık açıları göz önünde bulundurularak belirlenir. Bu çalışma kapsamında kurulum alanı mevcut bir binanın çatısı olarak düşünülmüştür. Bu noktada çatının uygunluğu incelenir ve PV panellerin çatı üzerinde konumlandırılacağı en uygun yer belirlenir. Güneşin çatı üzerindeki etkisi, PV panel montaj alanının yüksekliğı, çatının eğimi ve yönelimi gibi faktörler dikkate alınır.

Hazırlanan bu örnek çalışmada, çatının eğim açısı 6° ve azimuth açısı $-55^\circ/125^\circ$ olacak şekilde düşünülmüştür. Çatı üzeri kurulum gerçekleştirileceğinden dolayı PV panellerin eğim ve azimuth açıları çatı açıları ile aynı olacak şekilde planlanmıştır. Burada bahsedilen eğim açısı, güneş panellerinin yatay düzleme göre yaptığı açıyken azimuth açısı, PV panellerin güney eksenine göre konumunu ifade etmektedir.

Uygun bir yerleşim planı oluşturabilmek amacı ile kurulum alanında güneş ışığı dağılımı incelenir ve gölgeleme analizi yapılır. Bu şekilde PV panellerinin yerleştirileceği alanın güneş ışığına ne kadar süre maruz kaldığını ve her bir PV panel üzerinde gölgeleme olup olmadığını belirlemek için detaylı bir inceleme gerçekleştirilir. Bu analiz, sistem verimliliğini optimize etmek için önemlidir. Tez kapsamında örnek olarak sunulan Çatı GES projesinde uzak ve yakın gölgelemelerin etkisi hesaba katılarak yakın gölgeleme kayıplarının %2'den ve uzak gölgeleme kayıplarının da %1'den küçük olmasına dikkat edilerek tasarım planı yapılmıştır. Değerlerin en yüksek %2 ve %1 ile sınırlandırılmasının nedeni üretim kayıplarının engellenmesidir.

GES tasarımında önemli bir diğer adım ise yük tahmini ve sistem boyutlandırmasını gerçekleştirmektir. Santralin hangi elektrik yüklerini karşılayacağını belirlemek ve yük profilinin çıkarılması tasarlanacak GES kurulu güç kapasitesinin belirlenmesinde oldukça önemlidir. Yük profilinin oluşturulması, tüketilen elektrik miktarının ve zamanının belirlenmesi ile başlar. Daha sonra, belirlenen yüke göre PV panellerin, inverterlerin ve diğer ekipmanların boyutları belirlenir. Bu çalışma kapsamında sanayi tesisi için bir yıllık yük tahmini gerçekleştirilmiştir.

Tüketim tahmini ve çatı üzerinde uygun kurulum alanının belirlenmesinden sonra santral genel yerleşim planı hazırlanarak toplam kurulu güç değerinin bulunması hedeflenmiştir. İlgili kriterler gözönünde bulundurularak pilot proje kapsamında kurulu güç 2464kWp olarak belirlenmiştir.

Kurulu gücün belirlenmesinin ardından Lisanssız Enerji Üretim Yönetmeliği'nin 5. Maddesinin 1. Fıkrasının c bendi kapsamında kurulumu planlanan GES projesinin çıkış gücü tesis elektrik aboneliğinde belirtilen sözleşme gücü ile sınırlandırılacağı düşünüldükçe 2000MWe olarak planlanmıştır. Bu noktada sistemin diğer bir önemli elemanı olan solar inverterlerin teknik özelliklerinin ve buna bağlı olarak sayısının

belirlenmesi planlanmıştır. Burada kurulu güç (W_p) PV panellerden STC’de üretilebilecek maksimum gücü ve elektriksel güç (W_e) GES projesinde ideal koşullarda üretebilecek ve şebekeye aktarılabilecek güç miktarını gösterir. Bu değer sistem şartlarının ideal olduğu durumda solar inverter çıkış gücü ile belirlenir. Örnek çalışma 100kW_e çıkış gücüne sahip 20 adet solar inverter ile modellenmiştir.

Kurulu gücü belirlenen GES projesinin katkı sağlayacağı elektrik enerjisi üretim miktarı, simülasyon çalışmaları yapılarak tespit edilmiştir. Bu sayede, planlanan GES projesinin elektrik enerjisi üretimine sağlayacağı katkı somut olarak ortaya konulmuştur. Tez kapsamında, kentsel alan için örnek olarak tasarlanacak çatı kurulumu GES projesinin üretim simülasyonu için PvSyst 7.2.8 yazılımı kullanılmıştır. PvSyst, fotovoltaik sistemin performansını değerlendirmek, tasarımını optimize etmek amacı ile kullanılmıştır.

Bu tez kapsamında simülasyon sürecinde izlenen temel adımlar şunlardır: İlk olarak, yeni bir proje oluşturularak kurulum alanı ve meteorolojik veriler yazılıma tanıtılmıştır. Bu aşamayı, GES için uygun kurulum açısı ve şeklinin belirlenmesi takip etmiştir. Projenin teknik dizaynı için uygun PV panel ve inverterler seçilmiş ve santral konfigürasyonu oluşturulmuştur. Sistem kayıpları, kirlenme, kablo kayıpları ve gölgeleme gibi faktörler dikkate alınarak belirlenmiş ve simülasyon programına girilmiştir. Son adımda simülasyon başlatılarak sistem performansı hakkında detaylı rapor elde edilerek tasarım buna göre optimize edilmiştir.

Tasarım ve planlama aşamaları verilen sistemin şebekeye bağlantısının yapılabilmesi için Bölüm 3 ile açıklanan şebeke işletmecisi nezdinde belli resmi işlemlerin tamamlanması gerekmektedir. Bu süreç tamamlandıktan sonra, inşaat aşamasına geçilecektir. İnşaat aşamasında belirlenen tasarıma uygun olarak PV paneller, inverterler ve diğer ekipmanlar tedarik edilecektir. Tedarik edilecek malzeme ve ekipmanların kalitesi, verimliliği ve garanti koşulları gibi faktörlerin dikkate alınması büyük önem taşır.

Montaj işlemi, çatının yapısına ve güneş panellerinin tasarımına bağlı olarak değişiklik gösterir. Çatının yapısına uygun montaj tekniği seçilerek, sistemin belirlenen 25 yıllık işletme süresi boyunca sorunsuz enerji akışının sağlanması hedeflenmiştir. Bu çalışma kapsamında, sandviç çatı kaplamasına uygun bir montaj sistemi tercih edilmiştir. Alt konstrüksiyon sistemi, statik yükler göz önünde

bulundurularak alüminyumdan tasarlanmış ve PV panellerin parça profillerle monte edilmesi planlanmıştır [65].

Sistem şebeke bağlantısı, PV panellerin ve diğer santrali oluşturan ekipmanların kurulumlarının tamamlanması ile birlikte sistemin şebekeye bağlantı aşamasına geçilir. PV panellerin solar inverterlere, solar inverterlerin de tasarlanan GES panosuna irtibatı sağlanır. GES panosu kurulum yapılan binanın tüketim barası ile ilişkilendirilerek gerekli elektrik bağlantılarının yapılması sonucunda sistem kurulumu tamamlanacaktır. Kurulumu tamamlanan GES için son adım olan test ve devreye alma aşamasına geçilecektir. Bu aşamada GES'in doğru şekilde çalıştığının doğrulaması yapılarak GES kaynaklı enerji üretiminin kurulum öncesi yapılan simülasyonlar ile karşılaştırması sağlanacaktır. Güvenlik için tüm elektrik bağlantılarının güvenli ve doğru şekilde yapıldığının kontrolleri gerçekleştirilecektir.

Kurulum sonrasında, işletme ve bakım sürecinde planlanacak olan düzenli bakımı ve izlenme ile güneş enerjisinden elektrik üretim performansının yüksek tutulması sağlanacaktır. Örneğin, PV panellerinin düzenli olarak temizlenmesi ve bakımı, sistem performansının optimize edilmesine önemli katkıda bulunacaktır.

GES projesi planlama aşamasında, finansal analiz, tasarım sürecinin önemli bir parçasını oluşturur. Yatırımın fizibilitesi; geri dönüş süresi, NPV ve IRR gibi finansal göstergelerin hesaplanmasını içerir.

Bu aşamalar, genel olarak güneş enerjisi sistemlerinin tasarımını kapsar. Ancak her proje farklı gereksinimlere sahip olabilir, bu nedenle tasarım süreci her zaman proje özelinde adapte edilmelidir.

Pilot GES projesi için uygulama detayları Bölüm 4.2 ile verilmiştir.

4.2 Sera Gazı Azaltımında Güneş Enerji Santrali Örneği

Sera gazı emisyonlarının azaltımında rehber niteliği taşıyan bu GES proje örneği, şebeke kaynaklı elektrik enerjisi kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltmayı hedefleyen stratejik bir model olarak düzenlenmiştir. Bu proje, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımını teşvik ederek, enerji üretiminde fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmayı amaçlamaktadır. Aynı

zamanda, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada yol gösterici bir rol oynayarak, diğer projeler için örnek teşkil etmektedir.

Çorlu kentsel alanında bir sanayi tesisi düşünülerek oluşturulan pilot proje ile mevcut çatı alanlarının yenilenebilir enerji kaynakları için kullanımı analiz edilmiştir. Bu çalışma sonucunda, fotovoltaiik enerjiden sağlanan elektrik enerjisi üretimi hesaplanmış ve bu üretimle önlenen sera gazı emisyon miktarı belirlenmiştir.

Elde edilen veriler, bölgedeki sanayi tesislerinin enerji dönüşümü potansiyelini ve çevresel faydalarını göstermesi açısından önemlidir. Bu hesaplama çok fazla sayıda sanayi tesisi bulunan Çorlu kentsel alanı için örnek teşkil etmesi açısından gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, Çorlu kentsel alanı içerisinde sanayi tesis çatısına entegre edilebilecek Lisanssız Enerji Üretim Yönetmeliği'ne uygun olacak şekilde bir GES projesi tasarlanmıştır.

Proje 4480 adet 550Wp PV Panel ve 100kWe çıkış gücünde 20 adet solar inverter kullanılmıştır. Bu durumda proje kurulu gücü 2464kWp ve proje çıkış gücü 2000kWe olacaktır.

Proje alanı olarak Çorlu ilçesinin seçilmesinin nedeni, yoğun sanayi faaliyetine sahip bu tür bir kentsel alanda yenilenebilir enerji kullanımının çevresel faydalarının ortaya konulması ve emisyon azaltım potansiyelinin belirlenmesidir. Çalışmanın bulguları, benzer sanayi bölgelerinde yenilenebilir enerji projelerinin çevresel etkilerini değerlendirmek için önemli bir referans oluşturacaktır.

4.2.1 Projenin Ana Ekipman Bilgileri

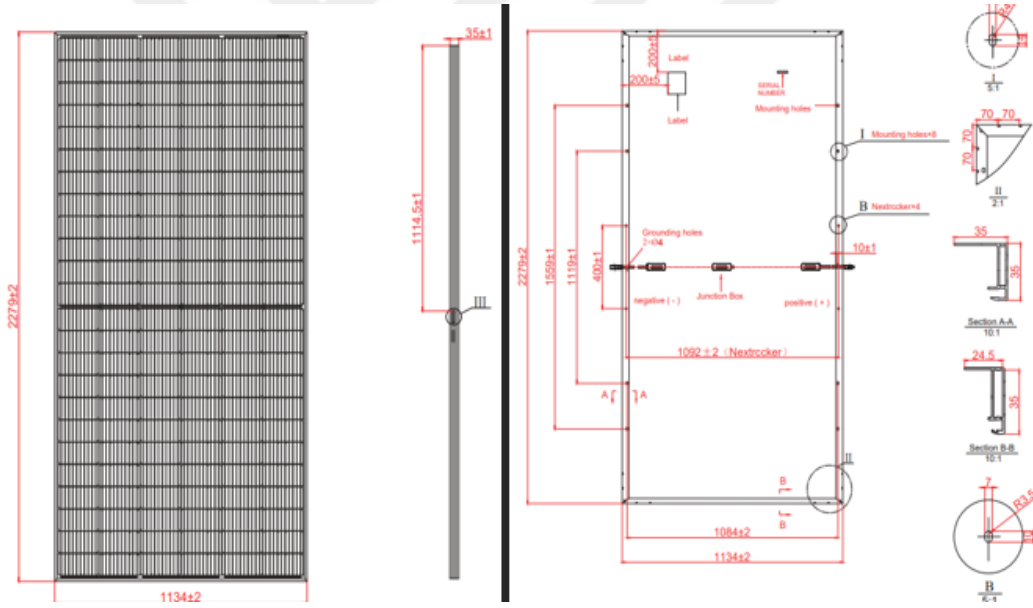
PV panele ve solar invertere ait teknik veriler bu bölüm içerisinde verilmiştir.

Proje tasarımında monoperc halfcut teknolojisine sahip PV paneller kullanılmıştır. Bu tez kapsamında tasarım için Seraphim marka SRP-550BMA-HV model 550 Wp gücünde PV paneller tercih edilmiştir. PV panele ait mekanik veriler Tablo 4.1 ile ve teknik çizim Şekil 4.2 ile verilmiştir [66].

PV panel teknik çizimi alt konstrüksiyon detaylarının belirlenmesinde ve yerleşim planlarının hazırlanmasında kullanılmıştır.

Tablo 4.1 SRP-550BMA-HV PV panel özellikleri

PV Panel Boyutları	2279 x 1134 x 35mm
Ağırlık	27kg
Solar Hücre	PERC Monokristal
Solar Hücre Sayısı	144 adet
Junction Box	IP68, 3 diyot
Çıkış Kablosu	4.0mm², 250mm(+)/350mm(-) ya da özelleştirilebilir kablo uzunluğu



Şekil 4.2 PV panel teknik çizimi

Seraphim marka SRP-550BMA-HV model 550Wp gücündeki PV panele ait elektriksel veriler ise Tablo 4.2 ile sunulmuştur [66].

Tablo 4.2 ile verilen değerler STC altında ölçülen değerlerdir. PV panel ve inverter konfigürasyonlarının belirlenmesinde ve diğer tasarım hesaplarında Tablo 4.2 ile verilen STC değerleri dikkate alınmıştır. STC 1000kWh/m² ışınım, 25°C sıcaklık AM=1.5 olduğu durumu temsil etmektedir.

AM, Dünya'nın kendi etrafında dönüşünün, güneş ışınlarının atmosfere giriş açısını nasıl etkilediğini ifade eden bir kavramdır. Giriş açısı değiştikçe, güneş ışınlarının atmosferde katettiği mesafe uzar veya kısalır. Bu mesafe uzadıkça, ışınlar daha fazla hava kütlesiyle etkileşime girer ve atmosferdeki gazlar ve parçacıklar tarafından filtrelenir. Bu, güneş ışınlarının spektral bileşenlerini ve enerji dağılımını etkiler. Örneğin, güneş ışınlarının 48.2°'lik bir açıyla atmosfere girdiği durum, AM 1.5 spektrumu olarak bilinir ve bu spektrum, fotovoltaik cihazlar için standart bir referans olarak kullanılır [67].

Tablo 4.2 SRP-550BMA-HV PV panel elektriksel özellikleri

Maksimum Güç	550 W
Açık Devre Voltajı (Voc)	49,70 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	14 A
Maksimum Güç Noktası Gerilimi (Vmp)	42,05 V
Maksimum Güç Noktası Akımı (Imp)	13,08 A
Verimlilik (%)	21,28
Maksimum Sistem Voltajı	1500 V
Güç Sıcaklık Katsayısı (β_{vmpp})	-0,34 %/°C
Gerilim Sıcaklık Katsayısı (β_{voc})	-0,26 %/°C
Akım Sıcaklık Katsayısı (β_{isc})	+0,05 %/°C

PV panel elektriksel verileri içerisinde verilen sıcaklık katsayıları, panelin sıcaklık artışı veya düşüşü karşısında çıkış gücünde, voltajında veya akımında meydana gelen değişiklikleri belirler ve üretici tarafından sağlanır. Özellikle güç ve voltaj için verilen bu katsayılar, panelin sıcaklığı her 1°C arttığında güç ve açık devre voltajında ne kadar bir azalma olacağını gösterir. Negatif işaretli olan bu katsayılar, sıcaklığın artmasıyla performans kaybını ifade eder; dolayısıyla, sıcaklık değişimlerinden daha az etkilenen PV panellerde bu katsayıların mutlak değeri olarak daha küçük olması tercih edilir. Öte yandan, sıcaklık arttıkça panelin çıkış

akımındaki artışı gösteren akım katsayısı pozitif işaretli olarak üretici tarafından belirlenmektedir.

Tez kapsamında verilen hesaplamalarda, sıcaklık katsayıları bir solar invertere bağlanacak olan optimum PV panel sayısının ve dizisinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Burada STC koşulları dışındaki sıcaklık koşullarında ölçülebilecek maksimum ve minimum gerilim değerlerinin belirlenmesi noktasında PV panele ait sıcaklık katsayıları kritik öneme sahiptir.

Yüksek sıcaklıklarda PV panellerinin ürettiği gerilim düşüş gösterirken, düşük sıcaklıklarda gerilim değeri artmaktadır. Bu nedenle, sistem tasarımında inverterin nominal giriş gerilimi ile PV panel dizisinin sıcaklık koşullarına bağlı olarak üreteceği gerilimlerin uyumlu olması büyük önem taşır. İnverterin maksimum giriş geriliminin, dizideki PV panellerinin düşük sıcaklıklarda üretebileceği en yüksek gerilimi aşmaması gerekmektedir. Aynı şekilde, en düşük giriş gerilimi de yüksek sıcaklıklarda PV dizisinin üretebileceği minimum gerilimden daha düşük olmamalıdır.

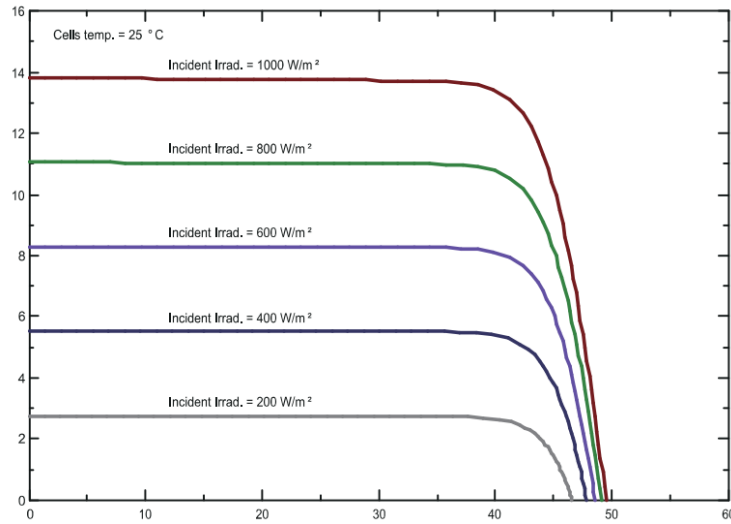
Tasarım aşamasında, STC dışındaki gerçek çalışma koşullarında panellerin maruz kalabileceği maksimum ve minimum sıcaklık değerleri dikkate alınmıştır. Bu değerler PV panelin ve solar inverterin veri sayfasından elde edilmiştir. Bu sıcaklık koşullarında, panellerin üreteceği maksimum ve minimum gerilim değerleri hesaplanmış ve bu değerler, inverterin izin verdiği giriş gerilim aralığı içinde kalacak şekilde optimum PV dizi tasarımı yapılmıştır.

Bu teknik detaylar göz önünde bulundurularak yapılan hesaplamalar, enerji santralinin PV panel ve solar inverter veri sayfalarında verilen ortam sıcaklıklarında güvenilir ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamak için gerekli ve elzemdir. Tasarlanan GES projesi için uygun tasarımın belirlenmesinde PV panele ve invertere ait teknik özellikleri dikkatlice değerlendirilmiş ve hesaplamalarda kullanılmıştır. Yapılan değerlendirme ve hesaplamalar ile GES projesinin elektrik enerjisi üretim potansiyelinin sürekliliğini sağlamak ve sistem verimini artırmak amaçlanmıştır.

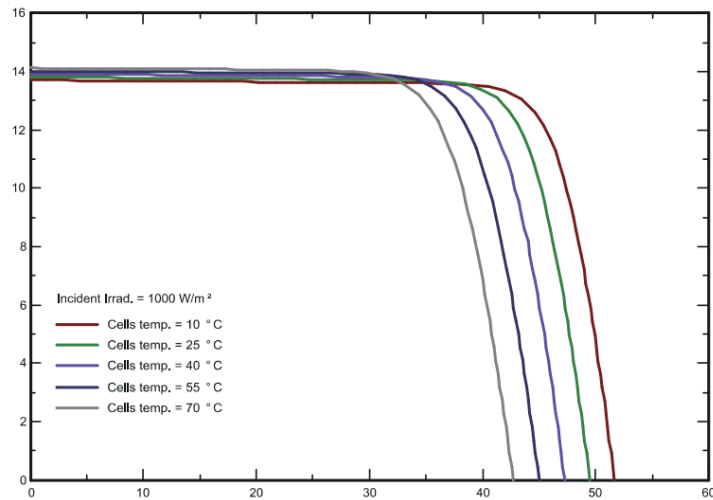
Güneş enerjisi sistemlerinde I-V eğrileri, PV panellerinin elektrik üretme yeteneklerini karakterize etmek için sıklıkla kullanılır. Bir PV paneli üzerinde belirli bir ışık seviyesi ve sıcaklıkta, PV panelin üretebileceği maksimum gücü

belirlemek için I-V eğrisi çizilir. I-V eğrisi, PV paneline uygulanan gerilim ve bu gerilime karşılık gelen akım arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu grafik, güneş panelinin nominal voltaj ve akım değerleri ile I_{sc} , V_{oc} , P_{max} değerlerinin belirlenmesinde ve dolayısıyla panelin verimliliğini analiz etmek için kullanılır. Bu grafikler, PV panellerinin performansını değerlendirmek, sistem tasarımını optimize etmek ve güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini artırmak için önemlidir. Sabit sıcaklık ve değişen ışıma karşı PV panel akım gerilim karakteristiğini gösteren I-V eğrisi Şekil 4.3 ile ve sabit 1000 W/m^2 ışıma ve farklı sıcaklık koşullarındaki akım ve gerilim karakteristiği ise Şekil 4.4 ile verilmiştir [66].

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen değerlendirmelerde ve santral tasarımlarında PV panele ait Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 ile verilen karakteristikler dikkate alınmıştır.



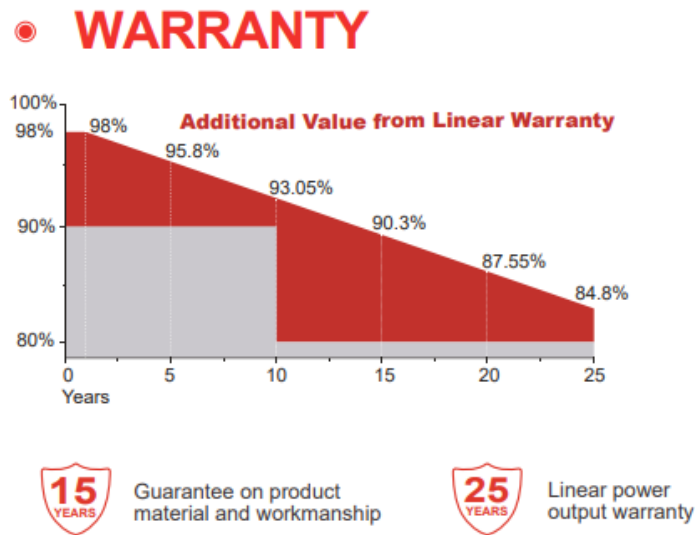
Şekil 4.3 Farklı ışıma koşullarında PV panel I-V eğrisi grafiği



Şekil 4.4 Farklı sıcaklık koşullarında PV panel I-V eğrisi grafiği

Projelendirilen PV panellerin üretici tarafından verilen 25 yıllık lineer performans garantisine ait grafik Şekil 4.5 ile verilmiştir [66]. Şekil 4.5 ile 25 yılın sonunda PV panelin uğrayacağı degradasyon görülmektedir. %100 performans değeri ile üretimi tamamlanan PV panellerin, LID kaybı olarak tanımlanan PV panellerinin güneş ışığına maruz kaldıklarında meydana gelen başlangıç performans kaybı nedeni ile performans değerinin %98 oranına düşeceği görülmektedir. 25. Yılın sonunda ise üretici tarafından sunulan yıllık degradasyon değeri ile performansın %84.8 oranına düşeceği görülmekte ve bu lineer performans garantisi üretici tarafından sağlanmaktadır.

Sistem finansal analizi PV panel üreticisi tarafından sağlanan 25 yıllık lineer performans garantisi baz alınarak hesaplanmıştır. Finansal analizde sistem ömrü 25 yıl olarak düşünülmüştür.



Şekil 4.5 PV panel degradasyonu

GES projesi kapsamında kullanılan bir diğer ana malzeme solar inverterlerdir.

Solar inverterler PV paneller tarafından üretilen DC akımı AC akıma dönüştürerek üretilen enerjinin AC şebekede kullanılabilmesini sağlar. Solar inverterler, DC akımı AC akıma çevirirken, şebeke ile senkronize olmasını sağlar ve güvenli bir akış sunar. Ayrıca, solar inverterler, PV panellerinin verimliliğini optimize eder, izleme ve hata tespiti gibi ek fonksiyonlar sağlar. Enerji üretimindeki dalgalanmaları dengelemeye yardımcı olur. Bu nedenle, solar inverterler, güneş enerjisi sistemlerinin en önemli bileşenlerinden biridir.

Bu tez kapsamında tasarlanan GES projesi için 20 adet SolarEdge marka SE100K-EU-APAC model solar inverter kullanılacaktır. Solar inverter çıkış gücü 100kWe olup projenin toplam elektriksel gücü 2000kWe'dir. Solar inverter ile ilgili veri sayfasından alınmış veriler Tablo 4.3 ile verilmiştir [68].

Tablo 4.3 SE100K-EU-APAC solar inverter elektriksel verileri

Giriş (DC) Değerleri	
Maksimum Sistem Gerilimi	1000 V
Maksimum Giriş Akımı	3x48,25 A
İşletme Gerilim Aralığı	750 V-1000 V
Maksimum Giriş Gücü (STC)	150 Kw
Çıkış (AC) Değerleri	
Maksimum Çıkış Gücü	100 kW
Sistem Gerilimi	400 V
Anma Şebeke Frekansı	50 Hz / 60 Hz

Tasarlanan projede kullanılan bir diğer önemli malzeme solar optimizelerdir. Solar optimizeler bir DC/DC dönüştürücüdür. Her bir panele veya panel grubuna entegre edilerek, her panelin MPP değerini izler ve optimize eder, böylece sistem genelindeki enerji üretiminin iyileştirilmesi amaçlanır. Bu tasarımda kullanılan solar optimizere ait elektriksel veriler Tablo 4.4 ile verilmiştir [69].

Tablo 4.4 P1100 optimizeler elektriksel verileri

Maksimum Giriş Gücü	1100 W
Maksimum Giriş Gerilimi (Voc)	125 V
MPPT Operasyon Gerilimi	12,5-105V
Maksimum Giriş Kısa Devre Akımı (Isc)	14,1 A

Tablo 4.5 P1100 optimizier elektriksel verileri (devam)

Maksimum Çıkış Akımı	18 A
Maksimum Çıkış Gerilimi	80 V

Solar optimizierler, genellikle inverter sistemlerine entegre edilerek kullanılır ve güneş enerjisi sistemlerinin toplam verimliliğini optimize eder. Bu optimizasyon, farklı ışık koşulları veya gölgelenme gibi durumlarda paneller arasında verimlilik farklarının oluşabileceği durumları kapsar. Solar optimiziere ait örnek bir görsel Şekil 4.6 ile verilmiştir.



Şekil 4.6 P1100 optimizier

Tasarlanan projede her 2 PV panele 1 adet bağlanmak üzere 1100W DC giriş gücüne sahip toplamda 2240 adet SolarEdge marka P1100 model optimizier kullanılmıştır.

4.2.2 Projenin Boyutlandırması

Tez kapsamında sunulan pilot GES projesi 2464kWp/2000kWe güç olarak tasarlanmıştır.

Belirtilen güç değerleri 4480adet 550Wp gücündeki Seraphim marka SRP-550BMA-HV model PV panelleri ve her biri 100kWe çıkış gücünde 20 adet SolarEdge marka SE100K-EU-APAC model solar inverter kullanılarak sağlandı. Sistem içerisine entegre edilen P1100 modelindeki DC/DC dönüştürücü görevindeki optimizierlar, her 2 PV panele 1 optimizier bağlanacak şekilde yapılandırılmıştır. Bu konfigürasyonda, toplamda 2240 optimizierın kullanılması

planlanmıştır. Ayrıca, proje kapsamında, 28 adet PV panel seri bağlanarak her biri 28 panelden oluşan 160 diziyle sistem tasarlanmıştır.

PV paneller, solar inverter ve optimizer konfigürasyonu yapılan hesaplamalar sonucunda belirlenmiştir. Dize konfigürasyonunun belirlenmesinde belli hesaplamaların yapılması gerekmektedir. Bu noktada sıcaklığa bağlı olarak değişen akım ve gerilim değerleri önem arz etmektedir. PV sistem içerisinde boyutlandırılacak PV dizelerin PV sistem kurulumunun yapıldığı bölgenin en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri baz alınarak hesaplanması gereklidir. Ortam sıcaklığındaki değişim dize tasarımını etkileyecektir. Bu hesaplamalarda PV panel üreticisi tarafından belirtilen βV_{mpp} ve βV_{oc} sıcaklık katsayıları STC koşullarında verilen değerlerin tasarım yapılan sıcaklık koşullarına göre düzenlenmesini sağlar. Bu bağlamda bir PV panel için sıcaklığa bağlı gerilim değişimi Denklem (4.1) ve (4.4) ile hesaplanmıştır.

Hesaplama için gerekli olan akım, gerilim ve sıcaklık katsayıları değerleri için Tablo 4.2, Tablo 4.3 ve Tablo 4.4 kullanılmıştır.

Denklem (4.1) ve (4.2) ile yapılan hesaplama sonuçları minimum V_{mpp}' gerilimi ve maksimum V_{oc}' gerilimi, solar inverter ya da optimizer verilerine göre belirtilen sınırların içerisinde olmalıdır.

Optimizer çalışma sıcaklık aralıkları göz önüne alınarak değerlendirildiğinde, ortam sıcaklığına bağlı olarak panel sıcaklığının -40°C ve 85°C 'deki açık devre ve çalışma gerilim değerleri Denklem 1 ve Denklem 2 ile incelenmiştir.

PV panel kataloğundan alınan βV_{mpp} $-0,34\%/^{\circ}\text{C}$ sıcaklık katsayısı ve V_{mpp} $42,05\text{V}$ değerleri ile T 85°C derece sıcaklık için V_{mpp}' değeri Denklem (4.1) kullanılarak Denklem (4.2) ile elde edilir.

$$V_{mpp}' = \left(1 + (T - 25) \times \left(\frac{\beta V_{mpp}}{100} \right) \right) \times V_{mpp} \quad (4.1)$$

$$\left(1 + (85 - 25) \times \left(-\frac{0,34}{100} \right) \right) \times 42,05 = 33,4718\text{V} \quad (4.2)$$

Burada PV panel datasheetinde doğrudan βV_{mpp} değeri sunulmadığı için βP_{mpp} değeri baz alınmıştır. Akımın sıcaklığa göre değişimi gerilime göre daha az olduğundan dolayı bu değer ihmal edilerek βP_{mpp} değeri kullanılmıştır.

2 adet PV panelin 1 adet optimizere bağlanması senaryosunda elde edilecek toplam gerilim değeri Denklem (4.2) ile verilen değer kullanılarak 66,9436V olarak hesaplanmıştır.

T -40°C derece sıcaklık için elde edilecek V_{oc}' değeri Denklem (4.3) kullanılarak Denklem (4.4) ile elde edilir.

$$V_{oc}' = \left(1 + (T - 25) \cdot \left(\frac{\beta_{voc}}{100} \right) \right) \cdot V_{oc} \quad (4.3)$$

$$\left(1 + (-40 - 25) \cdot \left(-\frac{0,26}{100} \right) \right) \cdot 49,70 \text{ V} = 58,0993 \text{ V} \quad (4.4)$$

2 adet PV panelin 1 adet optimizere bağlanması senaryosunda elde edilecek toplam gerilim değeri Denklem (4.4) ile verilen değer kullanılarak 116,1986V olarak hesaplanmıştır.

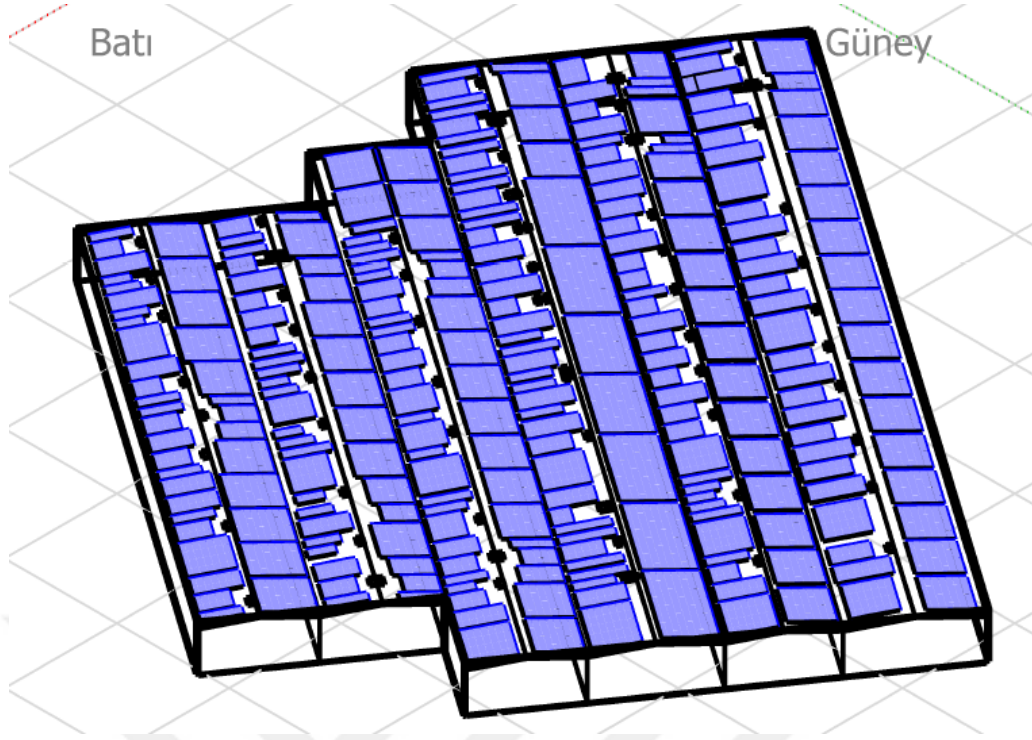
Optimizer katalogunda verilen V_{oc} değeri 125V ve minimum V_{mpp} değeri 12,5V'tur. 116,1986V ve 33,4718V bu değerlerin arasında kaldığından 2 adet PV panelin 1 adet optimizer ile konfigürasyonu uygun olarak görülmüştür.

Bir inverter için sağlanan toplam DC giriş gücünün kontrolü için üretici tarafından sağlanan maksimum DC/AC güç oranının 1,5 değerinden küçük olmasına dikkat edilmiştir. Bu durumda tasarımda kullanılan 100kWe gücündeki inverterin 8 girişi kullanılmış ve her solar inverter girişine 28 adet PV panelden oluşan dizeler bağlanmıştır. Bu durumda, 1 adet invertere bağlanan toplam dize sayısı 184 olarak belirlenmiştir. Bu dize sayısına karşılık gelen giriş DC gücü 123,2kWp olarak hesaplanmıştır. İnverterin AC çıkış gücünün 100 kWe olduğu durumda, sistemin DC/AC (kWp/kWe) güç oranı 1,232 olarak bulunmuştur ve bu değer 1,5 değerinden küçük olduğu kontrol edilmiştir.

Bölüm 4.1 ile sunulan GES planı doğrultusunda yerleşim planı oluşturulmuştur. Yerleşim planının oluşturulmasında ayrıca aşağıdaki durumlar da dikkate alınmıştır.

Kurulum ve işletme sırasında güvenliği ve hareket alanı sağlamak açısından çatı kenarlarında ve proje alanı içerisinde 50cm mesafeli yürüyüş yolları bırakılmıştır.

GES yerleşim projesinde uyulması gereken durumlar ve Bölüm 4.1 ile verilen GES proje planı dikkate alınarak oluşturulan yerleşim planı, Şekil 4.7 ile sunulmuştur.



Şekil 4.7 Çatı GES genel yerleşim örneği

Santral kurulumu sonrasında, işletme ve bakım sürecinin kolaylaştırılması amacıyla solar inverterlerin konumları, çatıdan optimum mesafede olacak şekilde planlanmıştır. Bu yaklaşım, kablo mesafelerinin de iyileştirilmesini sağlamaktadır.

Modellenen GES projesinde, DC kablo mesafelerini kısaltmak ve yıldırım etkisini azaltmak amacıyla, PV panellerinin ve DC dizi kablolarının yerleşimi dikkatlice tasarlanmıştır. Bu tasarımda, artı ve eksi DC kablo reglajları birbirine en yakın olacak şekilde düzenlenmiş, böylece hem kablo uzunlukları minimize edilmiş hem de yıldırım etkisi azaltılmıştır. Artı ve eksi DC dizi kablolarının farklı noktalardan çıkarak solar invertere bağlantısının yapılması, GES projelerinde yıldırım etkisini artırabilir. Bu durum, farklı noktalardan çıkan kabloların yıldırımın etkisi altında farklı potansiyellerde olması ve bu nedenle aralarında yüksek voltaj farklarının oluşması anlamına gelir. Yıldırım düşmesi durumunda, bu farklı potansiyeller, yıldırımın yolunu izleyerek olumsuz etkilere neden olabilir. Bu durum, güneş enerjisi sistemleri üzerinde cihazlara, invertörlere veya diğer ekipmanlara zarar verebilir. Bu nedenle, GES projelerinde, aynı dizeye ait artı ve eksi DC kablolarının reglajlarının aynı noktadan olacak şekilde düzenlenmesine dikkat edilmesi IEC 62446 standardına göre önerilir. Bu, potansiyel farklılıkları azaltarak ve yıldırım

etkilerini minimize ederek sistem güvenliğini artırabilir. Yani, DC kablolarının bir araya getirildiği nokta, mümkünse aynı nokta olmalıdır.

Bu önlemlerin yanında proje için standartlara uygun bir topraklama sisteminin tasarlanması bir zorunluluktur. Standartlar çerçevesinde tesis edilecek yıldırımdan koruma sisteminin tasarlanması da önemlidir.

4.2.3 Güneş Enerji Santralinin Enerji Üretim Simülasyonu

Yerleşim planı oluşturulmuş ve konfigürasyonları belirlenmiş olan GES için PvSyt yazılımı kullanılarak enerji üretim simülasyonu yapılmıştır ve elde edilen veriler bu bölümde sunulmuştur.

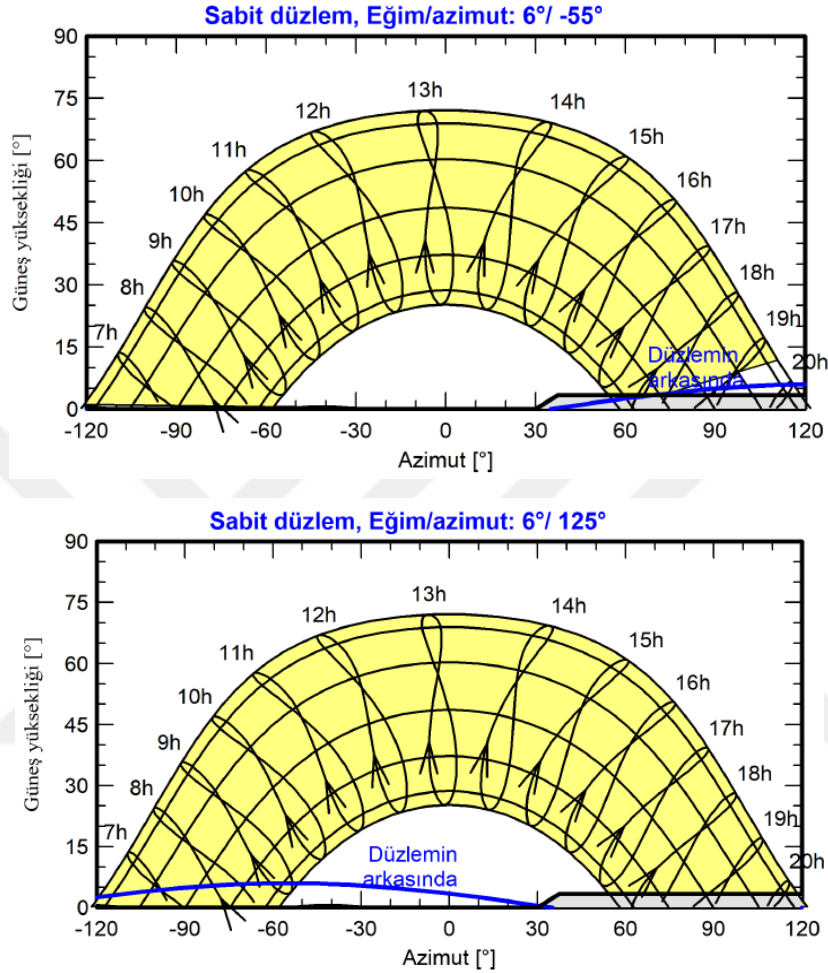
Sera gazı emisyonlarının azaltımı için örnek teşkil etmesi açısından hazırlanan GES projesi Çorlu kentsel alanı içerisinde faaliyet gösteren bir fabrika için tasarlandığı düşünülmüş ve tesis alanı çatı olarak belirlenmiştir.

Şekil 4.7 ile görüldüğü üzere sistem kuzey-güney yönelimli bir çatı için tasarlanmıştır. 1000kWe güç güney yönelimli çatıdan ve 1000kWe güç kuzey yönelimli çatıdan olacak şekilde toplamda 2000kWe çıkış gücü hedeflenmiştir. Sistem yerleşim parametreleri PvSyst simülasyon programına Tablo 4.5 ile verildiği gibi girilmiştir.

Tablo 4.5 GES proje verileri

Parametreler	Alan-1	Alan-2
Yönelim	Güney	Kuzey
Eğim Açısı (°)	6	6
Azimuth Açısı (°)	55	125
PV Panel Sayısı (adet)	2240	2240
Solar İnverter Sayısı (adet)	10	10
Toplam Kurulu Güç (kWp)	1232	1232
Toplam Çıkış Gücü (kWe)	1000	1000

Pvsyst yazılımı ile analiz edilebilen güneş yörüngesi diyagramı, güneşin günün farklı saatlerindeki ve yılın çeşitli dönemlerindeki konumunu görselleştiren bir grafikdir ve PV sistem tasarımı açısından önemli bilgiler sunar. Tasarlanan sistem için iki yönelime ait grafikler Şekil 4.8 ile verilmiştir.



Şekil 4.8 Güneş yörünge diyagramları

Diyagramda, dikey eksen güneşin ufka göre yüksekliğini gösterirken, yatay eksen ise güneşin coğrafi kuzeye göre açısını temsil eder. Yükseklik açısı, güneşin doğuşundan batışına kadar olan konum değişimini gösterir; sabah güneş ufka yakinken açısı düşüktür, öğle saatlerinde maksimum seviyesine çıkar ve günün ilerleyen saatlerinde tekrar azalır. Azimut açısı ise, güneşin doğu-batı yönündeki hareketini tanımlar; bu açı, güneş doğarken doğuya (90°), batarken batıya (270°) yönelir.

Diyagramın doğru okunması, PV panellerin optimum açı ve konumda yerleştirilmesini sağlayarak enerji üretim verimliliğini artırır. Ayrıca, bu diyagram güneş ışınlamının yıl boyunca nasıl değiştiğini anlamaya yardımcı olarak, sistemin

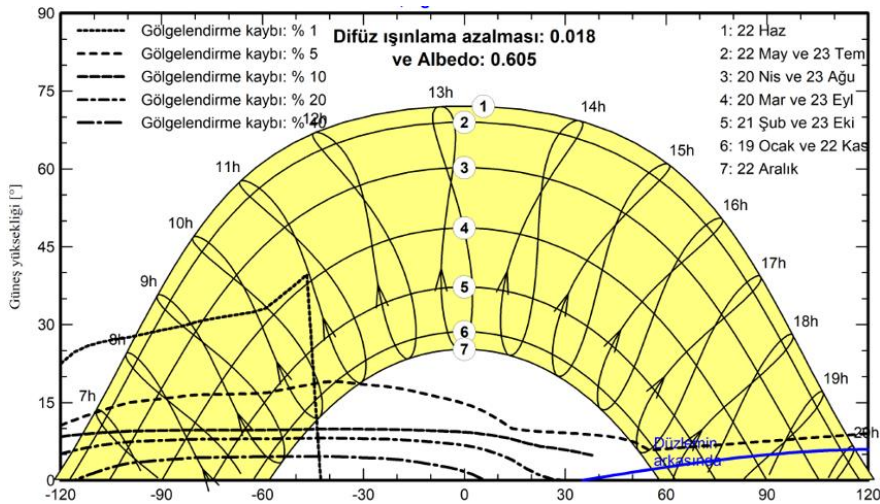
performansını etkileyebilecek gölgeleme ve diğer çevresel faktörlerin değerlendirilmesine imkan verir.

PVSyst simülasyonu sırasında değerlendirilmesi gereken bir diğer önemli diagram izo gölgeleme diyagramıdır. İzo gölgeleme diyagramı güneş enerjisi sistemlerinin kurulu olduğu alandaki gölgeleme etkilerini analiz etmek için kullanılan önemli bir çıktıdır.

Bu diyagram, yatay ekseninde yılın günlerini, dikey ekseninde ise günün saatlerini gösterir ve izo çizgileri belli gün ve saat aralığında yapılan yerleşime istinaden gerçekleşmesi beklenen gölgeleme seviyelerini temsil eder. Izo çizgileri, yılın farklı gün ve saatlerinde panellerin ne kadar gölgede kalacağını görselleştirir.

Bu diyagram, gölgeleme oranlarının yüksek olduğu zaman dilimlerini belirleyerek sistemin enerji üretimindeki olası kayıplarını ve performans etkilerini anlamaya yardımcı olur. Böylece, gölgeleme kaynaklı kayıpları minimize etmek ve güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini artırmak için gerekli optimizasyonların yapılmasına olanak sağlar.

Tez kapsamında tasarlanan pilot proje için son aşamada gölge faktörünün optimize edilmesi ile elde edilen tasarıma ait izo gölgeleme diyagramı Şekil 4.9 ile verilmiştir.



Şekil 4.9 İzo gölgeleme diyagramı

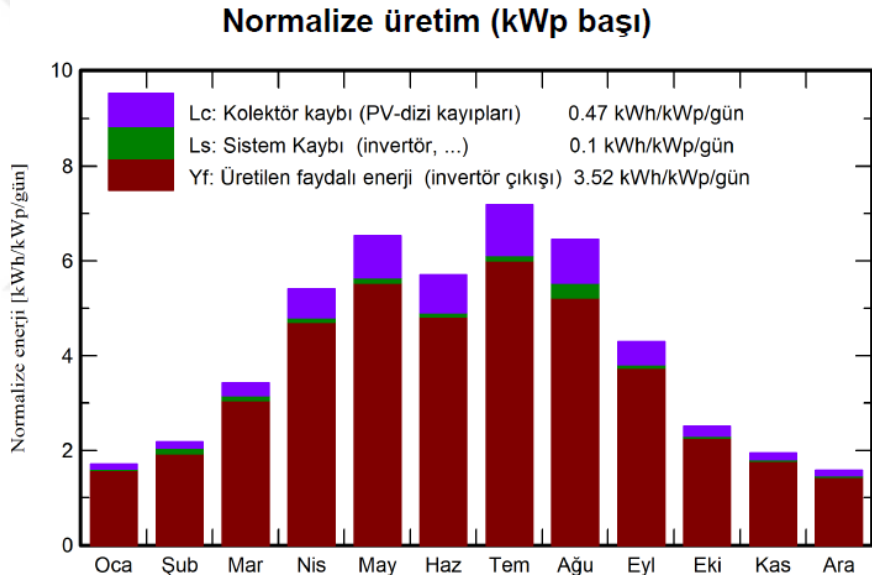
Şekil 4.9'a göre GES tesisinde bir yıllık periyot incelendiğinde, sabah saat 11.00'e kadar ve akşam saat 18.00'den sonra kısmi gölgeleme olduğu gözlemlenmiştir. Sabah saatlerinde %20 oranında gölgeleme en yüksek seviyesine ulaşmakta ve

özellikle aralık ayında, saat 11.00'de bu oranda gölgeleme görülmektedir. Öğle saatlerinde ise, enerji üretiminin yüksek olduğu zaman diliminde gölgeleme etkisi bulunmamaktadır.

Sistem tasarımı aralık ayı içerisindeki gölge uzunlukları baz alınarak aralık ayı içerisinde 11.00 ve 15.00 saatleri arasında gölgeleme olmayacak şekilde tasarım gerçekleştirilmiştir.

En kötü duruma göre yapılan tasarım sayesinde yıl içerisinde yüksek enerji üretimi beklenen ay ve saatlerde gölgeleme etkisi gözlemlenmemiştir.

Tasarım ve analizler sonucunda yapılan enerji üretim simülasyonu sonucunda tahminlenen GES kaynaklı enerji üretim miktarının aylık bazda gösterimi Şekil 4.10 ile sunulmuştur.



Şekil 4.10 GES kaynaklı enerji üretimi

Şekil 4.10 ile verilen grafiğe göre ocak ayından mayıs ayına kadar enerji üretiminde artış beklenirken haziran ayında ısıtım kaynaklı enerji üretim değerinde bir düşüş gözlemlenmiştir. Temmuz ayında tekrar artan üretim değeri en yüksek seviyeye ulaşarak sonbahar ve kış aylarında üretim seviyelerinin azaldığı görülmüştür. Şebekeye aktarılan en düşük enerji üretim değeri aralık ayı için tahmin edilmiştir.

Tablo 4.6 ile aylık bazda şebekeye verilmesi öngörülen elektrik enerjisi üretim miktarları verilmiştir. İlk yıl için hesaplanan elektrik enerjisi üretim miktarı 3164,9MWh olarak hesaplanmıştır.

Tasarlanan sistemin mevcut çevre koşulları altındaki çalışma verimini değerlendirmek için PR parametresi oldukça önemlidir. Bu değer aylık olarak PvSyst yazılımı ile hesaplanarak aylık üretim değerleri ile beraber Tablo 4.6 ile sunulmuştur.

Tablo 4.6 GES kaynaklı üretim ve PR değerleri

Aylar	Şebekeye verilen enerji MWh	Sistem performans oranı %
Ocak	120,9	92,9
Şubat	133,3	88,9
Mart	233,2	89,3
Nisan	348,5	87,3
Mayıs	423,4	84,9
Haziran	356,3	84,5
Temmuz	458,7	83,6
Ağustos	398,8	80,9
Eylül	276,8	87,2
Ekim	172,9	90,1
Kasım	131,8	91,8
Aralık	110,3	92,0
Yıllık	3164,9	86,1

Tablo 4.6'ya göre, PR değeri, üretimin en yüksek olduğu temmuz ayında %83,6, en düşük olduğu aralık ayında ise %92 olarak hesaplanmıştır.

Bu durum, PR değerinin şebekeye aktarılan enerji miktarıyla doğru orantılı olmadığını göstermektedir. PR değeri, santralin şebekeye ne kadar enerji

aktardığına değil, mevcut santral ve iklim koşulları altında fotovoltaik enerjiden ne kadar elektrik enerjisi dönüşümü yapılabildiğine bağlıdır.

Gerçekleştirilen çalışmada ilk yıl için hesaplanan PR değeri %86,1'dir. Bu değer sonrakı yıllarda PV panel degradasyonuna da bağlı olarak düşmesi beklenmektedir.

PR bir sistemin nominal STC altında çalışması durumunda üretmesi gereken enerji miktarı ile mevcut şartlar altında ürettiği enerji miktarının oranıdır.

PR değeri sistem için hesaplanan kayıp değerlerini de içererek STC dışındaki şartlar için sistemin ne kadar verim ile çalışacağını ifade eder. Burada bahsedilen kayıplar ile; AC ve DC kablo kayıpları, yakın ve uzak gölgeleme kayıpları, LID, IAM, uyumsuzluk kayıpları, PV panel kalitesi kaynaklı kayıplar, PV dönüşüm kayıpları, kirlilik nedenli kayıplar, dizi kayıplarını ve sistem kayıpları kastedilmektedir. PR, IEC EN 61724 standardı ile açıklanmış ve Denklem (4.5) ile verildiği gibi formüle dökülmüştür.

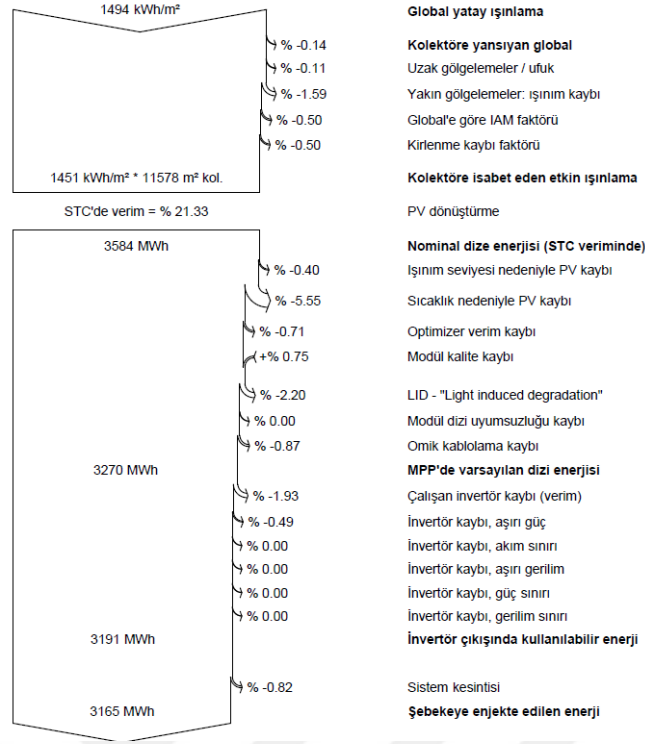
$$PR = \frac{\text{Gerçek üretilebilen değer (kWh)}}{\text{Teorik üretilen değer (kWh)}} \quad (4.5)$$

Gerçek üretim, GES tarafından belirli bir zamanda üretilen enerji miktarını, teorik beklenen üretim ise sistem kapasitesi ve tasarımı göz önüne alındığında beklenen üretimi ifade eder.

Simülasyonu yapılan projenin enerji dönüşümü, enerji dönüşümüyle ilgili kayıplar ve sistem kayıplarını gösteren akış diyagramı Şekil 4.11 ile sunulmuştur.

Diyagram, proje süresince meydana gelen enerji üretim süreçlerini ve bu süreçlerdeki kayıpları görselleştirerek, sistemin performansını analiz etmeye olanak tanır.

Şekil 4.7'ye göre, fotovoltaik enerjiden elektrik enerjisine dönüşüm için tasarlanan şebeke bağlantılı çatı GES projesi Şekil 4.11'e göre ilk yıl sonunda tüm kayıplar ve dönüşümler göz önüne alındığında [70] 3164,9 MWh enerji üretim kapasitesine ulaşmaktadır. Bu değer, kent içinde GES kaynaklı olarak önlenen sera gazı miktarının hesaplanmasında kullanılacaktır.



Şekil 4.11 GES kayıp diyagramı

4.3 Pilot Güneş Enerji Santrali ile Önlenecek Seragazi Miktarı

ETKB'nin 18 Mart 2024 tarihinde yayınladığı Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Emisyon Faktörü Bilgi Formu'nda belirtilen emisyon faktörleri kullanılarak, tasarlanan GES projesi ile yıllık olarak önlenecek sera gazı emisyon miktarı hesaplanmıştır [71].

 T.C. ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI	TÜRKİYE ULUSAL ELEKTRİK ŞEBEKESİ EMİSYON FAKTÖRÜ BİLGİ FORMU	Doküman No	ETKB-EVÇED-FRM-039 Rev.03
		Revizyon / Yayın Tarihi	12.03.2024

Hesaplama Dönemi	Hesaplama Yayın Tarihi	Hesaplama Revizyon No
2021	18.03.2024	00

Şekil 4.12 ETKB bilgi formu

Bu hesaplama, GES projesinin ürettiği 3164,9 MWh'lik enerji sayesinde, fosil yakıtlı enerji kaynaklarının kullanımından kaynaklanacak emisyonların ne kadarının önlendiğini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Böylece proje, kent içindeki karbon ayak izini azaltmaya ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmaya olan etkisini somut verilerle ortaya koymaktadır.

Belgenin yayınlanmasındaki amaç yıllık olarak hesaplanan Türkiye ulusal elektrik şebekesi emisyon faktörleri hakkında bilgilendirme yapılmasıdır.

Form ile sunulan faaliyet temelli marj ve gelişim temelli marj emisyon faktörleri, birleşik marj emisyon faktörünün hesaplanmasında kullanılan önemli parametrelerdir. Bu faktörler, güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki karbon emisyonlarını belirlemek için kullanılır. Elektrik şebekesi için emisyon faktörleri Tablo 4.7 ile sunulmuştur [71].

Hesaplanan faaliyet temelli marj ve gelişim temelli marj emisyon faktörleri, güneş ve rüzgar enerjisi santralleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektriğin çevreye olan etkisini değerlendirmek için kullanılır. Bu faktörler, santralin kurulumu, işletilmesi ve yakıt tedariki gibi çeşitli aşamalarındaki emisyonları dikkate alır.

Tablo 4.7 Elektrik şebekesi emisyon faktörleri

Faktör Türü	Yılı	Değeri (tCO₂/MWh)
Faaliyet temelli marj emisyon faktörü	2021	0,7279
Gelişim temelli marj emisyon faktörü	2021	0,3541

Faaliyet temelli marj emisyon faktörü, elektrik üretimindeki doğrudan emisyonları ifade ederken, gelişim temelli marj emisyon faktörü, üretim teknolojilerindeki ilerlemeler ve karbon yoğunluğundaki değişiklikleri göz önünde bulundurur.

Bu iki farklı marj emisyon faktörü kullanılarak, güneş ve rüzgar enerjisi santralleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektriğin çevreye olan toplam etkisi daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilebilir. Bu, karar vericilere ve enerji politikası oluşturucularına daha iyi bilgi sağlayarak sürdürülebilir enerji stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olabilir. Güneş ve rüzgar yenilenebilir enerji kaynakları ile diğer yenilenebilir enerji kaynakları için emisyon faktörleri Tablo 4.8 ile verilmiştir [71]. Hesaplanan faaliyet temelli marj ve gelişim temelli marj kullanılarak güneş ve rüzgar kaynaklı elektrik üretim santralleri ve diğer yenilenebilir enerji santralleri için iki farklı birleşik marj emisyon faktörü hesaplanmıştır.

Tablo 4.8 Emisyon faktörleri

Faktör Türü	Yılı	Değeri (tCO₂/MWh)
Birleşik marj emisyon faktörü (güneş ve rüzgar)	2021	0,6345
Birleşik marj emisyon faktörü (diğer)	2021	0,541

ETKB tarafından yayınlanan forma göre “Yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretimi ile sağlanacak sera gazı salım (SGS) azaltım hesaplamalarında kaynak türüne göre hesaplanan birleşik marj emisyon faktörleri kullanılabilir.” şeklinde tanımlanmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimine geçiş, sera gazı salımlarını azaltmada önemli bir rol oynar. Bu azaltımın hesaplanmasında, kullanılan yenilenebilir enerji kaynağının tipine göre hesaplanan birleşik marj emisyon faktörleri kullanılabilir.

Birleşik marj emisyon faktörleri, belirli bir yenilenebilir enerji kaynağından elde edilen elektriğin, fosil yakıtlardan elde edilen elektriğe kıyasla sera gazı salımlarındaki azaltımı belirlemek için kullanılır. Bu faktörler, yenilenebilir enerji kaynaklarının sera gazı emisyonlarını azaltmada sağladığı faydaları ölçmek ve karbon ayak izini hesaplamak için önemlidir.

Tasarlanan GES projesi için, ilk yıl 3164,9MWh elektrik enerjisi üretimi hedeflenmiştir. Bu üretim miktarı temel alınarak, GES kurulumu sayesinde ilk yıl önlenebilecek sera gazı emisyon miktarı 2.008,129tCO₂ olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama, Türkiye Ulusal Elektrik Şebekesi Emisyon Faktörü Bilgi Formu'nda belirtilen emisyon faktörleri kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen veriler, elektrik enerji tüketiminde fotovoltaik sistemlerin kullanımının karbon emisyonlarının azaltılmasına katkısını somut bir şekilde ortaya koymaktadır.

GES projesi ile üretilen yenilenebilir enerji, fosil yakıtların kullanımını azaltarak atmosfere salınan CO₂ miktarını düşürür. Bu sayede proje, kentsel alanlarda karbon ayak izini azaltarak iklim değişikliği ile mücadeleye somut bir katkı sağlar ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynar.

Projenin mevcut çatılar üzerine uygulanması, yeni arazi kullanımının ve ilave inşaat süreçlerinin önüne geçer. Bu yaklaşım, GES kurulumunda gerekli olan alt

konstrüksiyon ve inşaat süreçlerini optimize ederek, bu süreçlerden kaynaklanacak sera gazı salımlarını da azaltır. Böylece var olan alanın verimli bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanınarak çevresel etkiler en aza indirilir.

Ayrıca, mevcut çatıların kullanılması, projenin uygulanma sürecini hızlandırır ve kurulum maliyetlerini azaltır. Çatı üzeri GES kurulumu ile montaj süresi kısaldığı için projenin başlama ve tamamlanma süresi kısılır, bu da sistemin daha hızlı bir şekilde devreye alınarak enerji üretimine başlamasını sağlar.

Kentsel alanlarda arazilerin sürdürülebilirliği ve elektrik enerjisi üretiminde karbonsuzlaşma hedefi doğrultusunda tasarlanan GES projesinin çevresel katkılarının yanı sıra finansal kazançlarını da ortaya koymak amacıyla Bölüm 5 ile finansal değerlendirme gerçekleştirilmiştir.

5

KENTE ENTEGRE PİLOT GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ İÇİN FİNANSAL ANALİZ

5.1 Analiz Yöntemleri

Kentsel bir alandaki yüksek enerji tüketimi nedeniyle oluşan sera gazı salımını azaltmak amacıyla, 2464kWp/2000kWe gücünde örnek bir GES projesi tasarlanmıştır. Bu projeyle, ilk yıl 3164,9MWh elektrik enerjisi üretimi hedeflenmiş ve bu üretimle ilk yıl 2.008,129tCO₂ emisyonunun önlenebileceği hesaplanmıştır. Projenin finansal analizi yapılarak, sera gazı azaltımına yönelik bu projenin ekonomik açıdan faydalarının ortaya koyulması amaçlanmaktadır.

Bu tez kapsamında yol gösterici olması amacıyla tasarlanan GES projesi için finansal analiz geri ödeme yöntemi, net bugünkü değer yöntemi ve iç karlılık oranı yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

5.1.1 Geri Ödeme Süresi Yöntemi

Bu yöntemde, yatırımın geri ödeme süresi, yıllık net kar tutarlarının toplamı ilk yatırım maliyetlerine ulaştığında ve pozitif net getiri elde edilmeye başlandığında belirlenir. Başka bir deyişle, yıllar boyunca biriken kazançların yatırım maliyetini karşıladığı yıl, geri ödeme süresi olarak kabul edilir. Yöntem için kullanılan formül Denklem (5.1) ile verilmiştir.

$$GÖS = \frac{\text{Yatırım tutarı}}{\text{Yıllık ortalama net kar}} \quad (5.1)$$

Bu çalışmada, güneş enerji santralinde kullanılan PV panellerin degradasyona uğraması ve veriminin her yıl %0,7 oranında azalması göz önünde bulundurularak yıllık amortisman payı hesaplanmış ve bu azalma, dolaylı olarak yıllık kazançların düşmesi şeklinde hesaplamalara dahil edilmiştir.

5.1.2 NPV Yöntemi

NPV yöntemi, bir yatırımın gelecekteki nakit akışlarının bugünkü değerini hesaplayarak yatırımın karlılığını değerlendiren bir finansal analiz yöntemidir. NPV, bir projenin gelecekte sağlayacağı nakit akışlarının bugünkü değeri ile başlangıçtaki yatırım maliyetinin bugünkü değeri arasındaki farkı temsil eder.

NPV yöntemi uygulama açısından şu şekilde açıklanabilir. Yatırımın ömrü boyunca beklenen yıllık nakit akışları tahmin edilir. Gelecekteki nakit akışlarını bugünkü değere dönüştürmek için kullanılan iskonto oranı belirlenir. Bu oran, genellikle yatırımın risk düzeyine ve alternatif yatırım getiri oranlarına bağlı olarak seçilir. Her bir gelecekteki nakit akışı, iskonto oranı kullanılarak bugünkü değerine indirilir. Tüm nakit akışlarının bugünkü değerleri toplanır ve başlangıçtaki yatırım maliyeti düşülerek NPV elde edilir.

5.1.3 IRR Yöntemi

IRR, bir yatırımın bugünkü değerini sıfıra indiren iskonto oranı olarak tanımlanır. Bu oran, yatırımın ekonomik ömrü boyunca elde edilen getirilerin bugünkü değerlerinin toplamını, yatırımın maliyetlerinin bugünkü değerlerine eşitleyen oranı temsil eder. Başka bir ifadeyle, IRR, yatırımın getiri ve maliyet unsurlarını dengede tutan iskonto oranıdır.

IRR, belirli bir eşiğin üzerindeki iskonto oranlarında, yatırımın NPV'sinin negatif bir hal almasına neden olurken, daha düşük iskonto oranlarında yatırımın NPV'si artar ve yatırım daha karlı hale gelir. Bu nedenle, IRR'ın yatırımcı tarafından belirlenen hedef iskonto oranından yüksek olması durumunda yatırım yapılması mantıklıdır. Aksi takdirde, IRR hedef oranının altında kalıyorsa, yatırımın karlı olmayacağı değerlendirilir ve bu durumda yatırım kararı verilmemelidir.

5.2 Finansal Modelin Oluşturulması

Finansal analizde, yatırımın toplam maliyeti, geri dönüş süresi, NPV ve IRR değerleri hesaplanarak projenin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Buradaki önemli kriterler, şebeke satış fiyatı ve şebeke kaynaklı tüketimden sağlanacak tasarrufun doğru bir şekilde tahmin edilmesidir.

Finansal analizin gerçekleştirilebilmesi için tasarım aşamasında oluşturulan tüketim-üretim profili Tablo 5.1 ile verilmiştir. GES kaynaklı üretim tahmini ile

karşılaştırıldığında yıllık bazda sistemin varsayılan elektrik tüketiminin tamamının GES ile karşılanamadığı görülmektedir. Bu durumda GES kaynaklı sağlanan üretim mevcut elektrik tüketiminin yıllık bazda yaklaşık %30'unu karşılamaktadır. Bu çalışma kapsamında GES üretimi kaynaklı ödenmeyecek fatura tutarı üzerinden modelleme yapılmıştır. Yatırımın özsermaye ile gerçekleştirileceği varsayılmıştır.

Tablo 5.1 Tesis üretim-tüketim profili

Aylar	Tesis elektrik tüketimi kWh	GES kaynaklı üretilen enerji kWh
Ocak	897.304	120.900
Şubat	819.008	133.300
Mart	923.416	233.200
Nisan	891.496	348.500
Mayıs	842.088	423.400
Haziran	853.952	356.300
Temmuz	840.668	458.700
Ağustos	929.810	398.800
Eylül	870.810	276.800
Ekim	899.450	172.900
Kasım	855.910	131.800
Aralık	867.670	110.300
Toplam	10.491.582	3.164.900

Finansal analizin oluşturulmasında Tablo 5.2 ile verilen değerler ve varsayımlar kullanılmıştır. Hesaplamalar Dolar üzerinden yapılmış olup kur 35USD/TL olarak alınmıştır.

Tablo 5.2 Finansal model giriş verileri

GES Kurulu Gücü (kWp)	2.464,00
GES Kaynaklı Üretim (kWh/yıl)	3.164.900,00
Tesis Elektrik Tüketim Miktarı (kWh/yıl)	10.491.582,00
PV modülü yıllık performans kaybı	0,7%
GES İşletme Ömrü (yıl)	25,00
GES Kurulum Maliyeti (USD)	1.650.000,00
Tesis Elektrik Alış Fiyatı (kr/kWh)	431,05
Tesis Elektrik Alış Fiyatı (cent/kWh)	12,32
İskonto Faktörü	3%
Yıllık Bakım İşletme Gideri (USD)	2.000,00

Tablo 5.2 ile verilen değerlere istinaden 25 yıllık GES proje ömrü boyunca hesaplanan nakit akışı Tablo 5.3 ile verilmiştir. GES için hazırlanan nakit akış tablosu, 25 yıllık bir dönem boyunca projenin finansal performansını değerlendirmek amacıyla tasarlanmıştır. Bu tablo, başlangıç yatırım maliyetleri, operasyonel ve bakım giderleri ile projeden elde edilecek gelirleri içerir. Gelirler, GES üretimi sayesinde şebekeden çekilecek elektrik enerjisi için elde edilecek tasarruflara dayanarak hesaplanmıştır. Başlangıçta yapılan sermaye harcamaları, PV panelleri, inverterler, montaj ve izin maliyetlerini kapsamaktadır. Tabloda, zaman içinde elde edilen gelirler ve giderler dikkate alınarak net nakit akışı hesaplanmış ve bu hesaplamalar Excel yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu net nakit akışı, projenin karlılığını ve geri ödeme süresini belirlemek için kritik bir rol oynamaktadır.

Tablo 5.3 ile verilen kümülatif nakit akış değerleri kullanılarak tasarlanan projenin IRR değeri %22 olarak hesaplanmıştır. GES projeleri genellikle uzun vadeli ve düşük riskli yatırımlar olarak değerlendirilir ve bu nedenle %22 gibi bir oran,

yatırımın yüksek bir performans sergilediğini gösterir. Elde edilen oran projenin sürdürülebilir bir gelir kaynağı olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.



Tablo 5.3 Finansal model nakit akışı

Nakit Akışı	Tesis kurulum maliyeti k\$	Yıllık bakım gideri k\$	Yıllık üretim miktarı kWh/yıl	Yıllık üretim parasal değeri k\$	Bakım ve işletme gideri k\$	Kümülatif nakit akışı k\$	İskontolu kümülatif nakit akışı k\$
	-1650	-2,00				-1650,00	-1650,00
1			3.164.900,00	389,78	-	-1260,22	-1241,74
2			3.142.899,70	387,07	-	-873,16	-835,29
3			3.121.052,34	384,38	-2,00	-490,78	-455,82
4			3.099.356,84	381,70	-2,00	-111,08	-100,16
5			3.077.812,15	379,05	-2,00	265,97	232,85
6			3.056.417,23	376,42	-2,00	640,39	544,30
7			3.035.171,03	373,80	-2,00	1012,19	835,25

Tablo 5.3 Finansal model nakit akışı (devam)

Nakit Akışı	Tesis kurulum maliyeti k\$	Yıllık bakım gideri k\$	Yıllık üretim miktarı kWh/yıl	Yıllık üretim parasal değeri k\$	Bakım ve işletme gideri k\$	Kümülatif nakit akışı k\$	İskontolu kümülatif nakit akışı k\$
8			3.014.072,53	371,20	-2,00	1381,39	1106,72
9			2.993.120,68	368,62	-2,00	1748,01	1359,65
10			2.972.314,48	366,06	-2,00	2112,06	1594,97
11			2.951.652,91	363,51	-2,00	2473,58	1813,57
12			2.931.134,97	360,99	-2,00	2832,56	2016,28
13			2.910.759,65	358,48	-2,00	3189,04	2203,91
14			2.890.525,97	355,98	-2,00	3543,02	2377,23
15			2.870.432,94	353,51	-2,00	3894,53	2536,97

Tablo 5.3 Finansal model nakit akışı (devam)

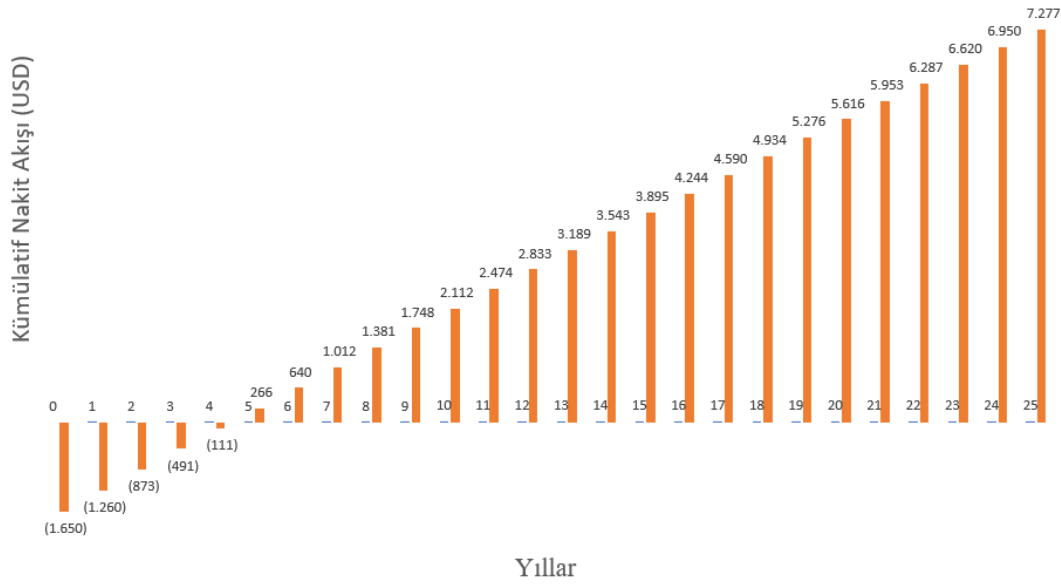
Nakit Akışı	Tesis kurulum maliyeti k\$	Yıllık bakım gideri k\$	Yıllık üretim miktarı kWh/yıl	Yıllık üretim parasal değeri k\$	Bakım ve işletme gideri k\$	Kümülatif nakit akışı k\$	İskontolu kümülatif nakit akışı k\$
16			2.850.479,58	351,05	-2,00	4243,59	2683,84
17			2.830.664,92	348,61	-2,00	4590,20	2818,50
18			2.810.988,01	346,19	-2,00	4934,39	2941,59
19			2.791.447,87	343,78	-2,00	5276,17	3053,73
20			2.772.043,57	341,39	-2,00	5615,57	3155,50
21			2.752.774,15	339,02	-2,00	5952,59	3247,45
22			2.733.638,68	336,66	-2,00	6287,25	3330,12
23			2.714.636,23	334,32	-2,00	6619,57	3404,02

Tablo 5.3 Finansal model nakit akışı (devam)

Nakit Akışı	Tesis kurulum maliyeti k\$	Yıllık bakım gideri k\$	Yıllık üretim miktarı kWh/yıl	Yıllık üretim parasal değeri k\$	Bakım ve işletme gideri k\$	Kümülatif nakit akışı k\$	İskontolu kümülatif nakit akışı k\$
24			2.695.765,86	332,00	-2,00	6949,57	3469,63
25			2.677.026,68	329,69	-2,00	7277,26	3527,41

Tablo 5.3 ile verilen GES'in bakım ve işletme maliyetlerinin ilk iki yıl yapımçı firma tarafından karşılanacağı düşünüldüğünden yatırımcıya ait finansal analizde hesaba katılmamıştır.

Tablo 5.3'te sunulan 25 yıllık GES projesine ait gelir ve gider verilerinin toplanmasıyla, kümülatif nakit akışı değerleri hesaplanmış ve bu sonuçlar Şekil 5.1 ile görselleştirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler, pilot proje olarak tasarlanan GES yatırımının 4,3'üncü yıldan itibaren pozitif kümülatif nakit akışına ulaştığını göstermektedir.



Şekil 5.1 25 yıllık kümülatif nakit akışı

Analizin bir sonraki adımında, GES projesinin kurulmama durumu baz senaryo olarak ele alınarak, GES projesinin ve baz senaryosunun karşılaştırmalı finansal analizi yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 5.4 ile sunulmuştur.

Baz senaryoda elektrik enerjisinin tamamen şebekeden temin edilmesi durumunda ortaya çıkacak yıllık enerji maliyetleri incelenmiştir. Buna karşılık, GES projesinin tesise entegre edilmesi durumu proje senaryosu olarak değerlendirilmiştir.

Proje senaryosunda, GES kaynaklı üretilen elektrik enerjisi sayesinde şebekeden çekilen enerji miktarında önemli bir azalma meydana gelmekte ve bu durum enerji maliyetlerinde belirgin bir tasarruf sağlamaktadır. Tabloda, GES'in sağladığı yıllık enerji tasarrufları, operasyonel giderler ve ilk yatırım maliyetleri ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Tablo 5.4, baz ve proje senaryolarına ait yıllık nakit akışlarını karşılaştırarak GES'in sağladığı tasarrufların, ilk yatırım maliyetini ne kadar sürede karşıladığını ortaya koymaktadır. Bu hesaplama sonucunda, GES projesinin sağladığı yıllık tasarrufların kurulum maliyetini 4,3 yıl içinde aştığı belirlenmiştir.

Bu analiz ile, GES yatırımlarının ekonomik faydalarını ve enerji maliyetlerini azaltmadaki etkinliğini net bir şekilde ortaya koymayı amaçlayarak bu tür projelerin gelecekteki değerlendirme konusunda somut bir temel oluşturmaya çalışılmıştır.

Tablo 5.4 proje ve baz senaryo için şebekeden çekilecek elektrik giderlerinin bir karşılaştırmasını yapar. Tablo 5.4 yatırım geri dönüş süresi boyunca proje senaryosunun elektrik tüketim maliyetleri daha yüksekken 4,3 yıl sonunda maliyetlerin giderek azaldığı görülmektedir.

Tablo 5.4 Geri ödeme süresi

Yıl	GES kurulmasaydı yıllık tüketim (A) kWh/yıl	GES kurulmasaydı yıllık tüketim bedeli k\$	GES kurulmasaydı kümülatif tüketim bedeli (C) k\$	GES yıllık üretim miktarı (B) kWh/yıl	A-B kWh/yıl	A-B parasal değeri k\$	GES yatırımı ile kümülatif CF (D) k\$	İki durum arasındaki fark değeri k\$	Tasarruf NPV değerleri k\$
	-10.491.582,00						-1.650,00		
1	-10.491.582,00	-1.292,10	-1.292,10	3.164.900,00	-7.326.682,00	-902,32	-2.552,32	-1.260,22	-1.241,74
2	-10.491.582,00	-1.292,10	-2.584,20	3.142.899,70	-7.348.682,30	-905,03	-3.457,36	-873,16	-835,29
3	-10.491.582,00	-1.292,10	-3.876,30	3.121.052,34	-7.370.529,66	-907,72	-4.365,08	-488,78	-453,97
4	-10.491.582,00	-1.292,10	-5.168,39	3.099.356,84	-7.392.225,16	-910,40	-5.275,47	-107,08	-96,55
5	-10.491.582,00	-1.292,10	-6.460,49	3.077.812,15	-7.413.769,85	-913,05	-6.188,52	271,97	238,10
6	-10.491.582,00	-1.292,10	-7.752,59	3.056.417,23	-7.435.164,77	-915,68	-7.104,21	648,39	551,10

Tablo 5.4 Geri ödeme süresi (devam)

Yıl	GES kurulmasaydı yıllık tüketim (A) kWh/yıl	GES kurulmasaydı yıllık tüketim bedeli k\$	GES kurulmasaydı kümülatif tüketim bedeli (C) k\$	GES yıllık üretim miktarı (B) kWh/yıl	A-B kWh/yıl	A-B parasal değeri k\$	GES yatırımı ile kümülatif CF (D) k\$	İki durum arasındaki fark değeri k\$	Tasarruf NPV değerleri k\$
7	-10.491.582,00	-1.292,10	-9.044,69	3.035.171,03	-7.456.410,97	-918,30	-8.022,51	1.022,19	843,51
8	-10.491.582,00	-1.292,10	-10.336,79	3.014.072,53	-7.477.509,47	-920,90	-8.943,40	1.393,39	1.116,33
9	-10.491.582,00	-1.292,10	-11.628,89	2.993.120,68	-7.498.461,32	-923,48	-9.866,88	1.762,01	1.370,54
10	-10.491.582,00	-1.292,10	-12.920,99	2.972.314,48	-7.519.267,52	-926,04	-10.792,92	2.128,06	1.607,06
11	-10.491.582,00	-1.292,10	-14.213,09	2.951.652,91	-7.539.929,09	-928,59	-11.721,51	2.491,58	1.826,77
12	-10.491.582,00	-1.292,10	-15.505,18	2.931.134,97	-7.560.447,03	-931,11	-12.652,62	2.852,56	2.030,52
13	-10.491.582,00	-1.292,10	-16.797,28	2.910.759,65	-7.580.822,35	-933,62	-13.586,24	3.211,04	2.219,12

Tablo 5.4 Geri ödeme süresi (devam)

Yıl	GES kurulmasaydı yıllık tüketim (A) kWh/yıl	GES kurulmasaydı yıllık tüketim bedeli k\$	GES kurulmasaydı kümülatif tüketim bedeli (C) k\$	GES yıllık üretim miktarı (B) kWh/yıl	A-B kWh/yıl	A-B parasal değeri k\$	GES yatırımı ile kümülatif CF (D) k\$	İki durum arasındaki fark değeri k\$	Tasarruf NPV değerleri k\$
14	-10.491.582,00	-1.292,10	-18.089,38	2.890.525,97	-7.601.056,03	-936,11	-14.522,36	3.567,02	2.393,34
15	-10.491.582,00	-1.292,10	-19.381,48	2.870.432,94	-7.621.149,06	-938,59	-15.460,95	3.920,53	2.553,91
16	-10.491.582,00	-1.292,10	-20.673,58	2.850.479,58	-7.641.102,42	-941,05	-16.401,99	4.271,59	2.701,55
17	-10.491.582,00	-1.292,10	-21.965,68	2.830.664,92	-7.660.917,08	-943,49	-17.345,48	4.620,20	2.836,92
18	-10.491.582,00	-1.292,10	-23.257,78	2.810.988,01	-7.680.593,99	-945,91	-18.291,39	4.966,39	2.960,67
19	-10.491.582,00	-1.292,10	-24.549,88	2.791.447,87	-7.700.134,13	-948,32	-19.239,70	5.310,17	3.073,41
20	-10.491.582,00	-1.292,10	-25.841,97	2.772.043,57	-7.719.538,43	-950,71	-20.190,41	5.651,57	3.175,73

Tablo 5.4 Geri ödeme süresi (devam)

Yıl	GES kurulmasaydı yıllık tüketim (A) kWh/yıl	GES kurulmasaydı yıllık tüketim bedeli k\$	GES kurulmasaydı kümülatif tüketim bedeli (C) k\$	GES yıllık üretim miktarı (B) kWh/yıl	A-B kWh/yıl	A-B parasal değeri k\$	GES yatırımı ile kümülatif CF (D) k\$	İki durum arasındaki fark değeri k\$	Tasarruf NPV değerleri k\$
21	-10.491.582,00	-1.292,10	-27.134,07	2.752.774,15	-7.738.807,85	-953,08	-21.143,49	5.990,59	3.268,18
22	-10.491.582,00	-1.292,10	-28.426,17	2.733.638,68	-7.757.943,32	-955,44	-22.098,92	6.327,25	3.351,31
23	-10.491.582,00	-1.292,10	-29.718,27	2.714.636,23	-7.776.945,77	-957,78	-23.056,70	6.661,57	3.425,62
24	-10.491.582,00	-1.292,10	-31.010,37	2.695.765,86	-7.795.816,14	-960,10	-24.016,80	6.993,57	3.491,60
25	-10.491.582,00	-1.292,10	-32.302,47	2.677.026,68	-7.814.555,32	-962,41	-24.979,21	7.323,26	3.549,71

GES kurulmadığında, elektrik ihtiyacı tamamen şebekeden sağlandığı için yıllar içinde elektrik maliyetleri birikerek GES kurulumunun yapıldığı senaryoya göre daha yüksek bir kümülatif gider ortaya çıkmıştır. Bu durumun sonuçları Tablo 5.5 ile verilmiştir. Tablo 5.5'e göre dördüncü yıldan sonra, GES kurulumunun yapılmadığı senaryo ile GES kurulumunun gerçekleştirildiği senaryo için hesaplanan kümülatif elektrik giderleri arasındaki fark pozitif değere ulaşmıştır. Ayrıca, fark değerleri birinci yıldan itibaren, santral ömrü olarak belirlenen 25 yıl boyunca sürekli artış göstermiştir. Bu da GES kurulumunun avantaj sağladığını göstermektedir.

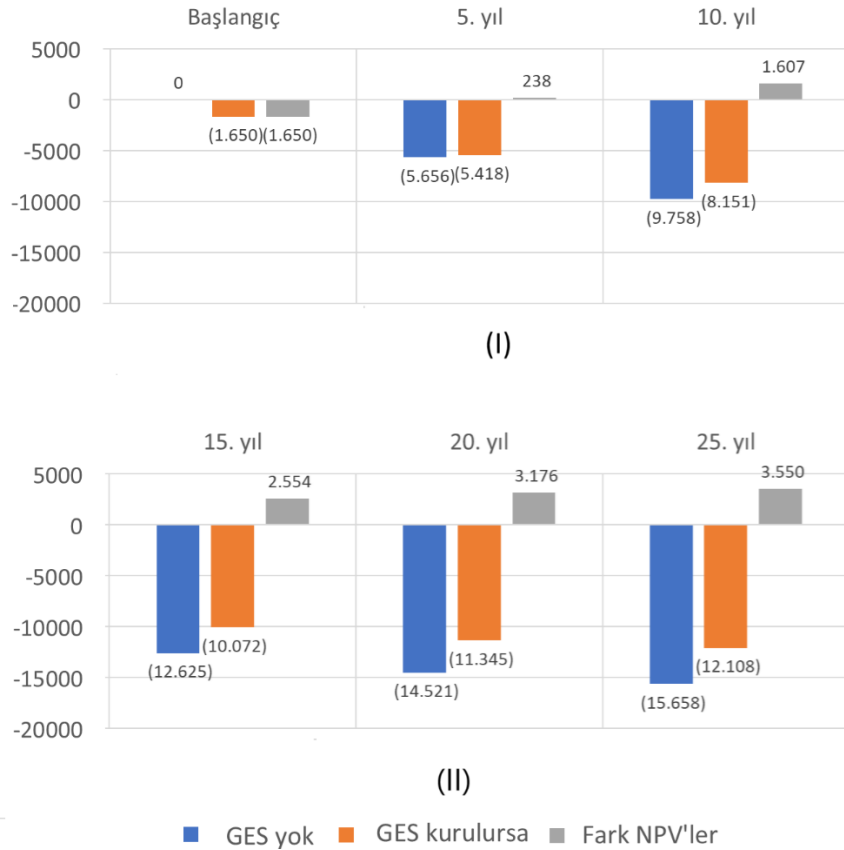
Tablo 5.5 Fark değerler

Yıl	GES yokken kümülatif elektrik giderleri k\$	GES yatırımı ile kümülatif elektrik giderleri k\$	İki durum arasındaki fark k\$
1	-1.292,10	- 2.552,32	-1.260,22
2	-2.584,20	-3.457,36	-873,16
3	-3.876,30	-4.365,08	-488,78
4	-5.168,39	-5.275,47	-107,08
5	-6.460,49	-6.188,52	271,97
6	-7.752,59	-7.104,21	648,39
7	-9.044,69	-8.022,51	1.022,19
8	-10.336,79	-8.943,40	1.393,39
9	-11.628,89	-9.866,88	1.762,01

Tablo 5.5 Fark değerler (devam)

Yıl	GES yokken kümülatif elektrik giderleri k\$	GES yatırımı ile kümülatif elektrik giderleri k\$	İki durum arasındaki fark k\$
10	-12.920,99	-10.792,92	2.128,06
11	-14.213,09	-11.721,51	2.491,58
12	-15.505,18	-12.652,62	2.852,56
13	-16.797,28	-13.586,24	3.211,04
14	-18.089,38	-14.522,36	3.567,02
15	-19.381,48	-15.460,95	3.920,53
16	-20.673,58	-16.401,99	4.271,59
17	-21.965,68	-17.345,48	4.620,20
18	-23.257,78	-18.291,39	4.966,39
19	-24.549,88	-19.239,70	5.310,17
20	-25.841,97	-20.190,41	5.651,57
21	-27.134,07	-21.143,49	5.990,59
22	-28.426,17	-22.098,92	6.327,25
23	-29.718,27	-23.056,70	6.661,57
24	-31.010,37	-24.016,80	6.993,57
25	-32.302,47	-24.979,21	7.323,26

Pilot proje kapsamında yapılan finansal analizler sonucunda, baz senaryo ile GES senaryosu arasındaki farkın NPV üzerinden hesaplamaları yapılmıştır. Baz senaryo ve GES senaryosuna ait kümülatif elektrik giderleri, 5., 10., 15., 20. ve 25. yıllar için karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 5.2 ile görselleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, iki senaryo arasındaki farkın 25. yılda en yüksek seviyeye ulaştığı görülmüştür.



Şekil 5.2 Baz ve GES kurulum senaryosunun NPV farkları

GES projesi için 5., 10., 15., 20., ve 25. yıl boyunca hesaplanan kümülatif iskonto edilmiş NPV değerleri, projenin ekonomik analizini yaparken önemlidir. Bu değerler, projenin belirli bir zaman dilimi içerisinde ne kadar kar sağlayacağını ve bu karın bugünkü değerini anlamak için kullanılır.

Kümülatif NPV, projenin belirli bir yıl sonuna kadar elde ettiği toplam net nakit akışlarının bugünkü değerine indirgenmiş toplamını ifade eder. Bu değer, yatırımın belirli bir yıl itibarıyla ne kadar değer kazandığını ya da kaybettiğini gösterir.

5. yıl için kümülatif NPV, projenin ilk beş yılı içerisindeki toplam karının bugünkü değeri hesaplanır. Bu değer, yatırımın kısa vadede ne kadar kazançlı olduğunu gösterir. Tablo 5.6 ile elde edilen pozitif değer yatırımın karlılığını ifade etmektedir.

10. yıl için kümülatif NPV, ilk 10 yıl boyunca elde edilen net nakit akışlarının bugünkü değerini yansıtır. Bu, projenin orta vadede karlılığını değerlendirmek için kullanılır. Tablo 5.6 ile 10.yıl için hesaplanan kümülatif NPV'nin 5. yıla göre artmış olduğu görülmektedir. Bu durumun projenin sürdürülebilir bir gelir getireceğini göstermektedir.

Tablo 5.6 ile verilen 15. yıl için kümülatif NPV, uzun vadede projenin finansal performansını gösterir. Bu, yatırımın uzun vadede yatırımcıya ne kadar kazandırdığını veya kaybettirdiğini anlamak için önemlidir.

20. yıl için kümülatif NPV Tablo 5.6 ile verilmiş olup pozitif değere sahiptir. 20. yıl sonuna kadar biriken NPV, projenin ömrü boyunca ekonomik olarak ne kadar başarılı olduğunu değerlendirir. Pozitif değer, yatırımın geri dönüşünün sağlandığını ve projenin kar etmeye devam ettiğini ifade etmektedir.

Tablo 5.6 Hesaplanan NPV

Dönem	Tasarruflar k\$
Kümülatif İskonto @ 5 yıl NPV	238
Kümülatif İskonto @ 10 yıl NPV	1607
Kümülatif İskonto @ 15 yıl NPV	2554
Kümülatif İskonto @ 20 yıl NPV	3176
Kümülatif İskonto @ 25 yıl NPV	3550

Ekonomik ömrü 25 yıl olarak tanımlanan pilot projenin 25. yıl sonundaki kümülatif NPV değeri projenin toplam ömrü boyunca ne kadar karlı olduğunu gösterir. Tablo 5.6'ya göre 25.yıl için pozitif bir NPV değeri elde edildiğinden GES projesinin ekonomik açıdan etkin olduğu sonucuna varılmıştır. Tasarlanan pilot proje ile, çatı üzeri GES kurulumlarının finansal açıdan uygun olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Bu çalışma kapsamında, kentsel alanlarda şebeke bazlı elektrik tüketiminin yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarıyla karşılanarak, özellikle enerji tüketiminde en yüksek paya sahip olan sanayi tesislerinde öztüketim modeline geçişi destekleyen bir kentsel enerji planı üzerinde durulmuştur. Bu planın bir parçası olarak, Çorlu ilçesinde 2464kWp/2000kWe güç kapasitesine sahip şebeke bağlantılı bir çatı GES projesi tasarlanmıştır. Pilot projenin ilk yılında, 2.008,129tCO₂ emisyonunun önlenmesi öngörülmüş olup, bu da projenin çevresel etkilerini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Örnek modelde, mevcut çatıların kullanılması, GES projelerinde kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlarken, çevresel etkilerin en aza indirilmesine de katkıda bulunur. Bu yaklaşım, projenin sürdürülebilirliğini ve ekonomik fizibilitesini artırarak yenilenebilir enerji çözümlerinin daha geniş ölçekte uygulanmasını destekler.

Projenin finansal analizinde, toplam yatırım maliyeti 1.700.000,00USD olarak hesaplanmıştır. Bu maliyet, PV paneller, solar inverter, konstrüksiyon, kablo ve bağlantı elemanları, GES AG toplama panosu ve şebekeye bağlantı ve şebekeyle senkronize çalışma için gerekli malzeme, ekipman ve tüm montaj işçiliği gibi unsurları içermektedir. Finansal analiz sonuçlarına göre, proje yatırımının geri dönüş süresi 4,3 yıl olarak belirlenmiş ve bu da projenin ekonomik açıdan uygulanabilir olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, işletme ömrünün 25 yıl olarak belirlendiği GES projesi için IRR %22 olarak hesaplanmıştır. Bu oran projenin sürdürülebilir bir gelir sağlayacağını göstermektedir. Bu çalışma kapsamında tasarlanan GES projesinin, tüketim noktasına entegre edildiği ve edilmediği senaryolar incelenmiş ve iki senaryo için de elektrik tüketim maliyetleri 25 yıl için tahmin edilmiştir. Senaryolar için fark değerler alınarak tasarruf miktarları belirlenmiş ve 25 yıl için kümülatif indirgenmiş NPV belirlenerek 5.,10.,15, ve 25. yıl için elde edilen değerler karşılaştırılmıştır. 5.yıl için 238.000,00\$ olarak hesaplanan değer 25.yıla kadar artarak 25.yıl için 3.550.000,00\$ olarak elde edilmiştir. Bu artış projenin her yıl kazanç sağlayacağını bir göstergesi olarak

yorumlanmıştır. Bu pilot proje için yapılan finansal analiz çıktıları PV panel teknolojisi, tasarım ve montaj yöntemlerine bağlı olarak farklı projeler için değişiklik gösterebilir. PV panel, montaj yöntemi ve tasarım projenin ilk kurulum maliyetlerini doğrudan etkileyen unsurlardır.

Bu çalışma, kentsel alanlarda öztüketim modeliyle uygulanacak çatı GES projelerinin çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlarken aynı zamanda ekonomik olarak da mantıklı bir yatırım olabileceğini göstermek ve enerji dönüşümü ile sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik yol gösterici bir model sunmak amacıyla yapılmıştır. Bu tür projeler, şehirlerin enerji planlamasında kritik bir rol oynayarak, karbon ayak izinin azaltılmasına ve enerji bağımsızlığının artırılmasına önemli katkılar sunacağı anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, kentsel alanlarda çatı üzeri GES kurulumlarının sera gazı emisyonlarını azaltmada etkili bir çözüm sunduğu, yapılan santral tasarımı, sera gazı emisyon hesapları ve finansal analizlerle net bir şekilde ortaya konmuştur. Araştırmamız, bu tür yenilikçi enerji çözümlerinin, şehirlerin karbon ayak izini kayda değer ölçüde düşürebileceğini ve aynı zamanda ekonomik olarak da sürdürülebilir olduğunu göstermektedir. Çatı üzeri GES'ler, şehirlerin hem çevresel hem de finansal geleceği için kritik bir öneme sahiptir. Bu proje, sadece enerji üretiminde değil, aynı zamanda iklim değişikliğiyle mücadelede de güçlü bir adım atılabileceğini kanıtlamaktadır. Bu sonuçlar, kent planlaması ve enerji politikalarında yenilenebilir enerji çözümlerine öncelik verilmesi gerektiğini açıkça göstermektedir. Kentsel alanlarda yaygınlaştırılacak bu tür projeler, gelecek nesillere daha yaşanabilir ve sürdürülebilir bir dünya bırakmak için önemli bir adımdır.

Bu çalışmanın devamında, kentsel alanlarda sadece sanayi tesisleri değil, yüksek enerji tüketimine sahip konutlar için de örnek enerji modelleri geliştirilmelidir. Konutlarda sera gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla, müstakil çatıların GES kurulumu için mevcut lisanssız enerji üretim yönetmeliği kapsamında öztüketim sağlanması büyük önem taşımaktadır. Konut düzeyinde kurulumların daha hızlı ve ekonomik hale getirilmesi için mevzuatın güncellenmesi ve kurulum maliyetlerini azaltacak teşviklerin sunulması, konut sahiplerinin sürdürülebilir enerji kullanımına olan motivasyonunu artıracaktır. Ayrıca, apartman gibi toplu konutlarda her

dairenin öztüketimini karşılayabilecek şekilde GES kurulumu yapabilmesine olarak tanıyan modellerin mevzuata dahil edilmesi gerekmektedir.



KAYNAKÇA

- [1] Türkiye İstatistik Kurumu, «Sera gazı emisyon istatistikleri,» [Çevrimiçi]. Available: <https://data.tuik.gov.tr/Search/Search?text=sera%20gaz%C4%B1&dil=1>. [Erişildi: Mart 2024].
- [2] SHURA, «Net sıfır 2053: Enerji sektörü için politikalar,» 2023.
- [3] SHURA, «Net sıfır 2053: Türkiye elektrik sektörü için yol haritası,» 2023. [Çevrimiçi]. Available: <https://shura.org.tr/net-sifir-2053-turkiye-elektrik-sektoru-icin-yol-haritasi/>. [Erişildi: Mart 2024].
- [4] E. Öztekin ve S. Çolak, «Sürdürülebilir ve düşük karbon emisyonlu kentsel alanlar için eko şehir kavramı; Zonguldak ili için öneriler,» *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, 2022.
- [5] T. Wilberforce, A. Olabi, E. . T. Sayed, M. Mahmoud, A. Hai Alami ve M. . A. Abdelkareem, «The state of renewable energy source envelopes in urban areas,» *Elsevier*, 2024.
- [6] K. Liu ve Z. Pang, «Environmental law impact on sustainable urban energy systems: policy innovations and decision making,» *Elsevier*, 2024.
- [7] M. HAQQI, Z. Benmamoun, H. HACHIMI, Y. RAOUF, I. JEBBOR ve M. AKIKIZ, «Renewable and sustainable energy : solar energy and electrical system design,» %1 içinde *IEEE*, 2023.
- [8] A. Shirgire, V. Javanjal, A. Shelar, M. K. Sinha, R. Marimuthu ve G. Peera, «Assessment of the environmental Impact of solar energy systems in urban Areas,» %1 içinde *3rd International Conference on Pervasive Computing and Social Networking*, 2023.
- [9] A. Colocci, E. Gioia, C. Casareale, N. Marchetti ve F. Marincioni, «The role of sustainable energy and climate action plans: Synergies with regional sustainable development strategies for a local 2030 agenda,» *Elsevier*, 2023.
- [10] Y. Chilukuri , A. Usman ve B. . S. Rajpurohit, «Assessing the impact of renewable energy sources to achieve net zero emissions,» %1 içinde *IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)*, 2023.
- [11] A. A. Tehrani, O. Veisi, B. V. Fakhr ve D. Du, «Predicting solar radiation in the urban area: A data-driven analysis for sustainable city planning using artificial neural networking,» *Elsevier*, 2023.

- [12] A. Canalp ve A. Bilgen Aksoy, «MCBÜ Hafsa Sultan Hastanesi çatı GES uygulaması ve maliyet analizi,» *Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği*, Aralık 2023.
- [13] C. Karaman, «Economic analysis of solar energy power plant under the consumptions realized in different hours and tariffs,» %1 içinde *ELECO*, 2023.
- [14] E. AY ve N. Pamuk, «Zonguldak bülent ecevit üniversitesi farabi yerleşkesindeki elektrik enerjisi ihtiyacının güneş enerjisi santralleri kurularak elde edilmesi ve ekonomik analizi,» *Black Sea Journal of Engineering and Science*, pp. 173-184, Temmuz 2023.
- [15] B. Ersöz ve H. İ. Bülbül, «A research on Importance of using renewable energy sources by organizations within the scope of green deal preparations,» %1 içinde *11th IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, İstanbul, 2022.
- [16] M. Akrofi ve M. Okitasari, «Integrating solar energy considerations into urban planning for low carbon cities: A systematic review of the state-of-the-art,» *Elsevier*, pp. 157-172, 2022.
- [17] Q. Xiao , L. Zhao, L. Ji ve J. Xia, «Ecological characteristics of distributed energy planning in ecological urban renewal design,» *Elsevier*, 2022.
- [18] G. Küçük ve B. Yüce Dural, «Enerji senaryoları üzerinden bir değerlendirme Avrupa Yeşil Mutabakatı ve yeşil ekonomiye geçiş:,» *AÜSBD*, 2022.
- [19] A. Jäger-Waldau, G. Kakoulaki, N. Taylor ve S. Szábo, «The role of the European Green Deal for the photovoltaic market growth in the European Union,» %1 içinde *IEEE*, 2022.
- [20] A. Çalık ve Ö. Emre, «Isparta ili için güneş enerjisi santrali (fotovoltaik) çatı uygulamasından elde edilen simülasyon verilerinin ekonomik analizi,» *Journal of Cihannuma Technology, Engineering and Natural Sciences Academy*, 2022.
- [21] C. Schenone ve I. Delponte, «Renewable energy sources in local sustainable energy action PLANs (SEAPs): analysis and outcomes,» *Elsevier*, 2021.
- [22] M. Yalılı Kılıç, T. Dönmez ve S. Adalı, «Bursa ve karaman illerinde konutlarda güneş enerji potansiyelinin uygulanabilirliğinin araştırılması,» *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 07 07 2021.
- [23] M. Yalılı, «Lisanslı fotovoltaik güneş enerji santrali yatırımının finansal analizi: Van İli örneği,» *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, pp. 1055-1074, 2021.
- [24] B. H. Gürsoy Haksevenler, G. N. Çelik Onat, B. Akpınar ve T. Bedel, «Yerel yönetimler için karbon ayak izinin belirlenmesi: ümraniye belediyesi örneği,» *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 2020.
- [25] Zeynep ATALAY AYRAN1, Z. Atalay Ayran ve Y. Aslan , «Kütahya ili güneş enerji potansiyelinin araştırılması ve örnek bir güneş enerji santralinin ekonomik analizi,» *Journal of Scientific*, 2020.

- [26] M. Bagheria, N. Shirzadib, . E. Bazdarb ve C. A. Kennedya, «Optimal planning of hybrid renewable energy infrastructure for urban sustainability: Green Vancouver,» *Elsevier*, 2018.
- [27] M. Huo, X. Huang, Y. Xu ve W. Li, «Regional energy planning- An example of Suzhou Industrial Park,» 2017.
- [28] T. O. Kaya, *Sürdürülebilirlik kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve önemi*, Aksaray, 2018.
- [29] K. Peattie, «Trappings versus substance in the greening of marketing planning.,» *Journal of Strategic Marketing*, no. 7, pp. 131-148, 1999.
- [30] İ. Şanlı ve R. Armağan, «Sürdürülebilir kalkınma perspektifinden yenilenebilir enerji: Kamu politikalarının gerekliliği,» no. 19, pp. 93-109, 2017.
- [31] G. Öymen ve M. Ömeroğlu, «Yenilenebilir enerjinin sürdürülebilirlik üzerindeki rolü,» *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, pp. 1069-1087, 2020.
- [32] A. Yılcı, «Denizli'de sürdürülebilir enerji uygulamaları,» Pamukkale Üniversitesi Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi, [Çevrimiçi]. Available: <http://www.solar-bazaar.com/menus/Denizli-de-Surdurulebilir-Enerji-Uygulamalari..pdf>. [Erişildi: Şubat 2024].
- [33] Yapı Kredi Bankası, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.yapikredi.com.tr/blog/surdurulebilirlik/cevre/detay/yenilenebilir-enerji-ve-surdurulebilir-enerji-arasindaki-fark-nedir>. [Erişildi: Kasım 2023].
- [34] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, «T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı,» [Çevrimiçi]. Available: <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>. [Erişildi: Şubat 2024].
- [35] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, «Türkiye ulusal enerji planı,» 2022. [Çevrimiçi]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/TUEP/T%C3%BCrkiye_Ulusal_Enerji_Plan%C4%B1.pdf. [Erişildi: Mart 2024].
- [36] EPDK, «Elektrik piyasası sektör raporu: Aralık,» 2023.
- [37] M. Mercan ve E. Karakaya, «Sera gazı salımının azaltımında alternatif politikaların ekonomik maliyetlerinin incelenmesi: Türkiye için genel denge analizi,» *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, pp. 123-159, 2013.
- [38] S. Kardeş Selimoğlu, A. Poroy Arsoy ve T. Bora Kılınçarslan, «Güvence denetiminin unsurları bağlamında uluslararası güvence denetimi standardı 3410'a Göre Sera Gazı Beyanlarına İlişkin güvence oluşturulması,» *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, pp. 21-34, Temmuz 2022.

- [39] R. B. Pak ve E. Özdemir, «Küresel iklim mücadelesi ekseninde Türkiye'nin yeşil enerji dönüşümüne genel bir bakış,» *Journal of YEKARUM*, pp. 32-53, 21 09 2023.
- [40] TÜİK, «Türkiye sera gazı envanteri 1990-2021,» [Çevrimiçi]. Available: . <https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-ulusal-sera-gazi-emisyonenvanteri..> [Erişildi: Mart 2024].
- [41] TÜİK, «TÜİK Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2022,» [Çevrimiçi]. Available: <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=cevre-ve-enerji-103&dil=1>.
- [42] T.C Ticaret Bakanlığı, «Avrupa Yeşil Mutabakatı,» [Çevrimiçi]. Available: <https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/avrupa-yesil-mutabakatı>. [Erişildi: Şubat 2024].
- [43] K. Ecer, O. Güner ve M. Çetin, «Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Türkiye ekonomisinin uyum politikaları,» *İşletme ve İktisat Çalışmaları Dergisi*, pp. 125-144, 26 09 2021.
- [44] «Haliç Çevre Danışmanlık,» [Çevrimiçi]. Available: <https://hlcccevre.com/ab-yesil-mutabakatı/>. [Erişildi: Şubat 2024].
- [45] A. Ö. Alpaslan ve V. Ortaçşme, «Antalya Kentinde Enerji Etkin Planlama Kapsamında Yeşil Altyapının Yeri ve Önemi,» *Peyzaj Araştırmaları ve Uygulamaları Dergisi*, 2019.
- [46] Yapı Fiziği Derneği, «Çatı ve cephelerde uygulanan güneş panellerinden üretilen enerjinin kentsel doku ve bina tipolojisi bağlamında incelenmesi,» %1 içinde 3. *Ulusal Yapı Fiziği ve Çevre Kontrolü Kongresi*, İstanbul, 2018.
- [47] A. Özcan ve Ş. Köse, «Türkiye'de yenilenebilir enerji haklarının uygulanabilirliği açısından kentsel planlama mevzuatı».
- [48] *Mekansal planlar yapım yönetmeliği*.
- [49] S. Bostancı ve A. E. Erbaş, «Kent planlamada yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı üzerine stratejik yaklaşımlar,» 2019.
- [50] G. Şenoğlu, E. Y. Topal ve B. H. Gürsoy, «Yenilenebilir enerji kullanımı ve artırılmasına ilişkin politika önerileri: İstanbul örneği,» *İdealkent*, pp. 171-196, 2022.
- [51] C. Emeksiz ve M. M. Fındık, «Sürdürülebilir kalkınma için yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye ölçeğinde değerlendirilmesi,» %1 içinde *3rd International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications*, 2021.
- [52] EPDK, *Elektrik piyasasında lisanssız elektrik üretim yönetmeliği*, 2019.
- [53] Ö. Özyakışır ve S. Ünver, «Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı lisanssız elektrik üretimi,» *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 2020.

- [54] Ö. Atalay, B. Yorgun ve R. Erdem, «Fotovoltaik (PV) güneş enerjisi sistemleri ve çatı uygulamaları».
- [55] Y. Selim Saral, «Fotovoltaik panel verimliliği ve maksimum güç noktası izleme,» 2023.
- [56] H. H. Öztürl, «Güneş enerjisinden fotovoltaik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler».
- [57] [Çevrimiçi]. Available: <https://en.tongwei.com.cn/news/50.html>. [Erişildi: Ekim 2024].
- [58] Ö. Özcan ve E. İzgi, «Şebekeye bağlı fotovoltaik çatı sisteminin karşılaştırmalı performans analizi,» *Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences*, 2020.
- [59] D. J. Jena ve V. R. Vanjari , «Modeling of photovoltaic system for uniform and non-uniform irradiance: A critical review,» *Renewable and Sustainable Energy Review*, Ağustos 2015.
- [60] O. Turam, «1MWp kapasiteli çatı tipi dağıtık güneş enerji santralinin tasarımı ve simülasyon uygulaması,» *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi*, pp. 609-626, 2022.
- [61] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, «Türkiye global güneş radyasyonu uzun yıllar ortalaması (2004-2021): Heliostat model ürünleri,» [Çevrimiçi]. Available: https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx. [Erişildi: Mart 2024].
- [62] N. Kandilci, *Türkiye için Global Güneş Radyasyonu Persistans Haritalarının Oluşturulması*, 2017.
- [63] Meteoroloji Genel Müdürlüğü, «Meteoroloji Genel Müdürlüğü,» [Çevrimiçi]. Available: <https://www.mgm.gov.tr/kurumici/turkiye-guneslenme-suresi.aspx>. [Erişildi: Mart 2024].
- [64] MGM, [Çevrimiçi]. Available: <https://www.mgm.gov.tr/Veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=TEKIRDAG>.
- [65] Ç. Varış, N. Bekiroğlu ve S. Özçira, «Güneşi izleyebilen 5,2 kw gücünde çift eksenli fotovoltaik sistem tasarımı ve simülasyonu,» %1 içinde *Elektrik Tesisleri Ulusal Kongre ve Sergisi*, 2017.
- [66] Seraphim Energy, 2024. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.seraphim-energy.com/>.
- [67] Teknoloji.org, [Çevrimiçi]. Available: <https://teknoloji.org/gunes-panelleri-icin-verimlilik-hesabi-nasil-yapilir/>.
- [68] Solaredge, [Çevrimiçi]. Available: https://www.solaredge.com/sites/default/files/se_commercial_three_phase_inverters_for_medium_voltage_grid.pdf.

- [69] SolarEdge, [Çevrimiçi]. Available: <https://knowledge-center.solaredge.com/sites/kc/files/se-p-series-commercial-add-on-power-optimizer-datasheet.pdf>.
- [70] S. Özçira, Ç. Varış ve N. Bekiroğlu, «Pilot bir uygulama için sabit ve çift eksenli fotovotaik sistem simülasyonlarının enerji üretimi karşılaştırması,» %1 içinde *Uluslararası GAP Yenilenebilir Enerji Ve Enerji Verimliliği Kongresi-2018*, 2018.
- [71] ETKB, «Türkiye Elektrik Üretimi ve Elektrik Tüketim Noktası Emisyon Faktörleri Bilgi Formu,» [Çevrimiçi]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://enerji.gov.tr//Media/Dizin/EVCED/tr/%C3%87evreVe%C4%B0klim/%C4%B0klimDe%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi/EmisyonFaktorleri/TEUVETN_Emisyon_Fakt%C3%B6rleri_Bilgi_Formu.pdf. [Erişildi: Nisan 2024].
- [72] İstanbul Enerji A.Ş., «Çorlu Sürdürülebilir Enerji ve İklim Eylem Planı,» Çorlu, 2023.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. M.Kudal, S.Özçira,«Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılmasında Güneş Enerji Santrallerinin Yeri ve Kente Entegrasyonu,» ELECO 2024, 28-30 Kasım 2024, Bursa.

