T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN OPTİMUM PLANLAMASI VE ETKİNLİK ANALİZİ: TEKNİK, EKONOMİK VE ÇEVRESEL YAKLAŞIMLAR

Hakan CANPOLAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Tesisleri Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ramazan AYAZ

Ocak, 2025

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN OPTİMUM PLANLAMASI VE ETKİNLİK ANALİZİ: TEKNİK, EKONOMİK VE ÇEVRESEL YAKLAŞIMLAR

Hakan CANPOLAT tarafından hazırlanan tez çalışması 13.01.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Tesisleri Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Ramazan AYAZ
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Ramazan AYAZ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Bedri KEKEZOĞLU, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Hakan AKÇA, Üye
Ege Üniversitesi _____

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ramazan AYAZ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Endüstriyel Tesislerde Güneş Enerjisi Santrallerinin Optimum Planlaması ve Etkinlik Analizi: Teknik, Ekonomik ve Çevresel Yaklaşımlar" 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.

Hakan CANPOLAT

İmza

Canım Aileme ve

Eğitim Hayatım Boyunca Destek Olan Herkese

TEŞEKKÜR

Çalışmam boyunca akademik bilgi ve desteğini esirgemeyen çok değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ramazan AYAZ'a, Doç. Dr. Alpaslan DEMİRCİ'ye, Arş. Gör. Musa TERKEŞ'e, Yüksek Mühendis Muhammed İbrahim HOŞSES'e ve manevi desteklerini sürekli hissettiğim aileme, arkadaşlarıma bu süreç içerisinde destek oldukları için teşekkür ederim.

Hakan CANPOLAT

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ viii

KISALTMA LİSTESİ ix

ŞEKİL LİSTESİ x

TABLO LİSTESİ xii

ÖZET xiii

ABSTRACT xv

1 GİRİŞ 1

1.1 Literatür Özeti 1

1.2 Tezin Amacı 3

2 ENERJİ KAYNAKLARI VE SINIFLANDIRILMASI 4

2.1 Enerji Kaynakları 4

2.1.1 Yenilenemez Enerji Kaynakları 5

2.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları 6

3 GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ 8

3.1 Güneş Enerjisi 8

3.1.1 Güneş Enerjsinin Uygulama Alanları 8

3.2 Fotovoltaik (PV) Güneş Enerji Sistemleri 10

3.2.1 Güneş Enerji Santrali Elemanları 11

3.2.2 Güneş Enerjsi Santali Bağlantı Çeşitleri 12

3.2.2.1 Şebekeye Bağlı (on-grid) Sistemler 12

3.2.2.2 Şebekeye Bağlı (off-grid) Sistemler 13

4 BAĞLI OLDUĞUMUZ ÇEVRE ANLAŞMALARI VE KARBON VERGİSİ **15**

4.1 İklim Değişikliğiyle Mücadelenin Önemi 15

4.2 Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolü 15

4.3 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 16

4.4 Kyoto Protokolü 17

4.5 Paris Anlaşması 17

4.6 Karbon Vergisi ve Emisyon Ticaret Sistemi 18

4.6.1 Karbon Vergisinin Avantajarı 19

4.6.2 Karbon Vergisinin Dezavantajları 20

4.6.3 Karbon Vergisi ve Emisyon Ticaret Sistemini Uygulayan Ülkeler 21

4.6.4 Avrupa'da Karbon Vergileri 22

4.6.5 Karbon Vergisinin Türkiye'de Uygulanabilirliği 25

4.6.6 Sınırda Karbon Düzenleme (SKD) Mekanizması ve Türkiye'ye Olası Etkileri 27

5 UYGULAMA ÇALIŞMASI **29**

5.1 HOMER Programı Hakkında 29

5.2 Modelleme 29

5.2.1. Fabrikanın Yük Profili 31

5.3 Tasarlanan Senaryolar 34

5.3.1 Senaryo-1 ve Sonuçları 35

5.3.2 Senaryo-2 ve Sonuçları 36

5.3.3 Senaryo-3 ve Sonuçları 40

5.3.4 Senaryo-4 ve Sonuçları 44

5.3.5 Senaryo-5 ve Sonuçları 48

5.3.6 Senaryo-6 ve Sonuçları 51

5.4 Senaryo Sonuçlarının Değerlendirilmesi 54

5.4.1. Senaryoların Teknik Sonuçları……55

5.4.2 Senaryoların Ekonomik Sonuçları-1 ……56

5.4.3 Senaryoların Ekonomik Sonuçları-2 ……60

5.4.4 Senaryoların Çevresel Sonuçları ……...62

6 SONUÇ **65**

KAYNAKÇA **68**

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR **74**

SİMGE LİSTESİ

NO_2	Azot dioksit
°C	Celsus derece [sıcaklık]
CO_2	Karbondioksit
CO	Karbonmonoksit
kg	Kilogram
kWp	Kilowat peak (elektriksel güç)
kWh	Kilowat saat (elektrik enerjisi)
CH_4	Metan
SO_2	Sülfür dioksit

KISALTMA LİSTESİ

BMİDÇS	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
EPDK	Enerji Piyasa Düzenleme Kurumu
EU-ETS	Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi
HFC	Hidroflorokarbonlar
HOMER	Çoklu Enerji Kaynaklarının Hibrit Optimizasyonu
IRR	İç Getiri Oranı (Internal Rate of Return)
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takibi (Maximum Power Point Tracking)
ODMD	Otomotiv Distribütörleri ve Mobilite Derneği
PV	Fotovoltaik (Panel)
PVSyst	Bilgisayar Destekli Güneş Santrali Tasarım Programı
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)
ROI	Yatırım getirisi (Return On Investment)
SKD	Sınırda Karbon Düzenlemesi
TOGG	Türkiye'nin Otomobili Girişim Grubu
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Program

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Enerji kaynakların sınıflandırılması 4
Şekil 3.1 Güneş pilinin iç yapısı 10
Şekil 3.2 Güneş pili hücresi, modülü ve paneli 11
Şekil 3.3 Şebekeye bağlı (on-grid) sistem modeli 13
Şekil 3.4 Şebekeden bağımsız (off-grid) sistem 14
Şekil 4.1 Karbon vergisi ve ETS'nin uygulandığı ülkeler 22
Şekil 4.2 Avrupa'daki ülkerin karbon vergi oranları 23
Şekil 5.1 Fabrika aylık elektrik tüketimi 32
Şekil 5.2 Fabrikanın saatlik elektrik tüketimi 33
Şekil 5.3 Fabrikanın yıllık saatlik elektrik tüketiminin sıcaklık grafisi 33
Şekil 5.4 Senaryo modelleri 34
Şekil 5.5 Senaryo-1 modeli 35
Şekil 5.6 Senaryo-1 için elektrik talebi ve karşılanma miktarı 36
Şekil 5.7 Güneş panellerinin fabrika çatı alanına yerleşimi-1 37
Şekil 5.8 Senaryo-2 modeli 38
Şekil 5.9 Senaryo-2 için elektrik talebi ve karşılanma miktarı 39
Şekil 5.10 Senaryo-3 modeli 41
Şekil 5.11 İş makinalarının şarj talebi 41
Şekil 5.12 Güneş panellerinin fabrika çatı alanına yerleşimi-2 42
Şekil 5.13 Senaryo-3 için elektrik talebi ve karşılanma miktarı 42
Şekil 5.14 Otopark alanına PV yerleşimi 45
Şekil 5.15 Senaryo-4 modeli 46
Şekil 5.16 Senaryo-4 için elektrik talebi ve karşılanma miktarı 47
Şekil 5.17 Senaryo-5 modeli 49
Şekil 5.18 Senaryo-5 için elektrik talebi ve karşılanma miktarı 50
Şekil 5.19 Senaryo-6 modeli 52
Şekil 5.20 Senaryo-6 için elektrik talebi ve karşılanma miktarı 53
Şekil 5.21 Talep miktarları ve karşılanma oranları 56
Şekil 5.22 Senaryoların yatırım ve getiri oranların karşılaştırılması-1 58

Şekil 5.23 Senaryoların amortisman sürelerinin karşılaştırılması-1 59
Şekil 5.24 Senaryoların getiri oranlarının karşılaştırılması-2 61
Şekil 5.25 Senaryo modellerin amortisman sürelerinin karşılaştırılması-2 62
Şekil 5.26 Karbondioksit (CO_2) salınım miktarı 63

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 Avrupa'daki ülkelerin karbon vergisi fiyatları 25
Tablo 5.1 PV teknik özellikleri 31
Tablo 5.2 Senaryo-1 için teknik sonuçlar 35
Tablo 5.3 Senaryo-1 için çevresel sonuçlar 36
Tablo 5.4 Senaryo-2 için teknik sonuçlar 38
Tablo 5.5 Senaryo-2 için ekonomik sonuçlar-1 39
Tablo 5.6 Senaryo-2 için ekonomik sonuçlar-2 39
Tablo 5.7 Senaryo-2 için çevresel sonuçlar 40
Tablo 5.8 Senaryo-3 için teknik sonuçlar 42
Tablo 5.9 Senaryo-3 için ekonomik sonuçlar-1 43
Tablo 5.10 Senaryo-3için ekonomik sonuçlar-2 43
Tablo 5.11 Senaryo-3 için çevresel sonuçlar 44
Tablo 5.12 Türkiyede satılan elektrikli araç sayısı (2024) 44
Tablo 5.13 Elektrikli araç batarya kapasitesi 45
Tablo 5.14 Senaryo-4 için teknik sonuçlar 46
Tablo 5.15 Senaryo-4 için ekonomik sonuçlar-1 47
Tablo 5.16 Senaryo-4 için ekonomik sonuçlar-2 48
Tablo 5.17 Senaryo-4 için çevresel sonuçlar 48
Tablo 5.18 Senaryo-5 için teknik sonuçları 49
Tablo 5.19 Senaryo-5 için ekonomik sonuçlar-1 50
Tablo 5.20 Senaryo-5 modeli ekonomik sonuçları-2 51
Tablo 5.21 Senaryo-5 için çevresel sonuçlar 51
Tablo 5.22 Senaryo-6 için teknik sonuçlar 52
Tablo 5.23 Senaryo-6 için ekonomik sonuçlar-1 53
Tablo 5.24 Senaryo-6 için ekonomik sonuçlar-2 54
Tablo 5.25 Senaryo-6 için çevresel sonuçlar 54
Tablo 5.26 Senaryoların teknik sonuçları 55
Tablo 5.27 Senaryolara ait ekonomik sonuçlar-1 57
Tablo 5.28 Senaryolara ait ekonomik sonuçlar-2 60
Tablo 5.29 Senaryolara ait çevresel sonuçlar 63

ÖZET

ENDÜSTRİYEL TESİSLERDE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNİN OPTİMUM PLANLAMASI VE ETKİNLİK ANALİZİ: TEKNİK, EKONOMİK VE ÇEVRESEL YAKLAŞIMLAR

Hakan CANPOLAT
Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik Tesisleri Programı
Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ramazan AYAZ

Günümüzde, nüfusun hızla artması ve teknolojinin ilerlemesi beraberinde sanayileşme sürecini hızlandırmıştır. Bu durum, enerji kullanımının artmasına ve özellikle elektrik enerjisine olan talebin yükselmesine neden olmuştur. Artan bu talebi karşılamak ve çevreye salınan zararlı gazları en aza indirmek için kısıtlı rezerve sahip olan fosil kaynaklar yerine alternatif enerji kaynaklarından enerji üretimine yönelme eğilimi artmıştır. Bu bağlamda, güneş enerjisinin doğaya duyarlı ve sürdürülebilir olmasından dolayı sık tercih edilir hale gelmiştir. Özellikle endüstriyel tesislerde güneş enerjisi santrallerinin kurulumu, enerji maliyeti ve sürekliliği ve aynı zamanda karbon ayak izinin minimize edilmesi konusunda önemli bir katkı sunma potansiyeline sahip olduğundan birçok avantaj sunmaktadır. Bu çalışmada, bir endüstri tesisinin elektrik enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulması planlanan güneş enerji santralinin optimal planlaması için farklı senaryo

modelleri oluşturulup değerlendirilmiştir. Modellerde, endüstri tesisinin mevcut işletme durumu, yük profili ve santral kurulum alan kısıtları dikkate alınarak senaryo modelleri oluşturulmuştur. Model tasarımlarında, güneş paneli yerleşimi ve konumlandırması için PVsyst programı, teknik, ekonomik ve çevresel performans değerlendirmesi için ise HOMER programı kullanılmıştır. Senaryo sonuçları değerlendirildiğinde amortisman süresi açısından en optimal senaryoda bu süresinin 4,36 yıla kadar düştüğü görülmüştür. Karbondioksit (CO_2) salınımı açısından değerlendirdiğinde bazı senaryolarda %73'e kadar bir azalma sağlanabildiği gözlemlenmiştir. Son yıllarda uluslararası alanda geniş çapta değerlendirilen bazı ülkelerde uygulamaya geçilen ve Türkiye'de de yakın zamanda uygulanmaya başlanacağı öngörülen karbon vergisi senaryolar için ayrıca değerlendirilmiştir. Bu kapsamda güneş santrallerinden elektrik enerjisi elde edilmesi karbon salınımını azaltacağından dolayı ödenecek toplam karbon vergisinde bir azalma sağlayacaktır. Bu azalım bir ekonomik getiri olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bu getiri en optimal senaryonun amortisman süresinin 3,45 yıla kadar düşmesini sağlamıştır. Bundan dolayı güneş enerjisi tabanlı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan tüketici ilgisinin hızla artmasına katkıda bulunacaktır. Sonuçlar, güneş enerjisi sistemlerinin bir endüstri tesisine teknik, ekonomik ve çevresel açıdan önemli katkılar sağlayacağını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, pvsyst, ekonomik analiz, homer, karbon vergisi

ABSTRACT

Optimal Planning and Performance Analysis of Solar Power Plants in Industrial Facilities: Technical, Economic and Environmental Approaches

Hakan CANPOLAT
Department of Electrical Engineering
M.Sc. Thesis

Supervisor: Asst. Prof. Ramazan AYAZ

In today's world, the rapid growth of population and advancements in technology have significantly accelerated the process of industrialization. This phenomenon has resulted in an increased demand for energy, particularly for electricity. To accommodate the growing energy demand and simultaneously reduce the emission of harmful greenhouse gases, there has been a significant shift towards the adoption of renewable and alternative energy sources, moving away from the reliance on fossil fuels with depleting reserves. In this context, solar energy has become increasingly preferred due to its environmentally sustainable and resource-efficient attributes. The installation of solar power plants, particularly in industrial facilities, offers numerous advantages due to its significant potential to contribute to reducing energy costs, ensuring energy sustainability, and minimizing the carbon footprint.

This study explores the optimal planning of a solar power plant designed to meet the electricity needs of an industrial facility by developing and analyzing different scenario models. The models were constructed by considering the operational characteristics of the industrial facility, its load profile, and the spatial constraints for the power plant's installation. In the model designs, PVsyst software was used

to determine the placement and positioning of solar panels, whereas HOMER software was applied to assess their technical, economic, and environmental performance.

An evaluation of the scenario outcomes revealed that, under the most favorable conditions for depreciation, the payback period shortened to just 4,36 years. When assessed in terms of carbon dioxide (CO_2) emissions, certain scenarios have demonstrated the potential to achieve reductions of up to 73%. In recent years, carbon tax scenarios, which have been extensively evaluated on an international scale and implemented in certain countries, are also anticipated to be introduced in Turkey in the near future. Within this context, the generation of electricity from solar power plants is expected to reduce carbon emissions significantly, thereby leading to a decrease in the total carbon tax liability. This reduction has been considered an economic benefit, and the analyses indicate that this benefit reduces the payback period for the most optimal scenario to as low as 3,45 years. Consequently, this development is expected to lead to a notable rise in consumer interest in renewable energy sources, particularly those based on solar energy.

The findings demonstrate that solar energy systems provide significant technical, economic, and environmental benefits to industrial facilities. These findings highlight the critical role of advancing renewable energy sources in achieving the objectives of sustainable development.

Keywords: Solar energy, pvsyst, economic analysis, homer software, carbon tax

1
GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Dünya'da nüfusun artması, teknolojinin gelişmesiyle birlikte sanayileşme sürecide hızlanmıştır. Bu değişimler beraberinde enerji tüketiminde de artışı getirmiştir. Artan bu enerji talebini karşılayabilmek için enerji kaynaklarına olan ihtiyaç daha da artmıştır. Bu ihtiyacı karşılayabilmek için farklı enerji kaynaklarına yönelim zorunlu hale gelmiştir. Aynı zamanda enerji kaynaklarının seçimi yapılırken sadece ekonomik ölçütlere değil, tükenme riski ve çevreye salınan karbondioksit (CO_2) miktarı gibi çevresel etkilerde dikkate alınmıştır [1]. Ayrıca son yıllarda sıkça gündemde olan ve yakın zamanda da bazı ülkelerin uygulamaya geçtiği karbon vergisinden dolayı işletmelerin yenilebilir enerji kaynaklarına olan yönelimini artırmıştır [2].

Enerji üretiminde yenilebilir enerji kaynakların tercih edilmesi çevre koşullarının eski haline dönmesini sağlanamasa da şuan yaşamlarını sürüdürmeye devam eden canlı yaşamı için daha kötü şartların oluşmasını engellenebilecektir [3].

Yenilenebilir enerji kaynakları denildiğinde genellikle güneş ve rüzgar enerjisi ön plana çıksa da, bu kavram yalnızca bu iki kaynakla sınırlı değildir. Jeotermal enerji, hidroelektrik, dalga enerjisi ve hidrojen gibi pek çok alternatif enerji kaynağı da bu kapsamda yer almaktadır [4]. Ancak güneş enerjisinin boyutlandırılması, kurulum ve işletmesi diğerlerine göre daha pratik olduğundan özellikle bu kaynağa yönelim daha fazla olmuştur. Bu kolaylıklardan dolayı güneş enerjisi (fotovoltaik) sistemlerinin enerji üretimindeki kullanım oranı artmış ve bu durum, elektrik şebekelerinin güçlendirilmesi için dinamik analizlerin yapılmasını, şebeke çalışmaları için hem uygun hem de analitik bir modelin geliştirilmesi zorunlu hale gelmiştir [5]. Enerji tüketimi en çok olan endüstri tesislerinde enerji konusu daha sık gündeme gelmektedir. Son yıllarda sanayi sektöründe, verimlilik, çevreci

teknolojiler ve ekolojik gibi kavramlar giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Hem çevresel kaliteyi artırmak hem de ekonomik yarar sağlamak için mevcut kaynakların en ideal şekilde kullanılması artık bir tercih değil, mecburiyet haline gelmiştir [6]. Fabrikalarda işletme maliyetlerin en büyük giderini enerji maliyeti oluşturmaktadır. Bu durum işletme sahiplerinin enerji maliyetlerini düşürmek amacıyla tesislerindeki enerjilerini üretebilecek yeni enerji kaynaklarına yönlendirmiştir [7].

Yenilenebilir enerji kaynakları ile kurulan hibrit sistem uygulaması ile ilgili yapılan çalışmalarda HOMER programı kullanılarak tekno-ekonomik ve çevresel analizler yapılmıştır. Ülkemizde farklı bölgelerde kurulması planlanan şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız santraller için fizbilite çalışmaları yapılmıştır. Türkiye'nin iki farklı bölgesinde bulunan farklı güneş radyasyonuna sahip yerler için çatı tipi güneş enerji santrali modellemesi HOMER programından yapılmıştır [8]. Başka bir uygulamada HOMER programından farklı kapasitelere sahip şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız santraller modellenip tekno-ekonomik analizleri yapılmıştır [9]. Güneş ve rüzgar enerjisinin verimli kullanımını sağlamak amacıyla güneş-rüzgar-dizel temelli hibrit enerji santralinin şebeke bağlantısız ve şebeke bağlantılı uygulamaları yapılarak elde edilen sonuçlar teknik ve finansal açıdan değerlendirilmiştir [10].

Endüstriyel tesisler özelinde yapılan hibrit sistemler değerlendirildiğinde Konya ilindeki bir fabrikanın elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla şebekeye bağlı hibrit enerji sistemi tasarlandığı görülmüştür. Bu sistem HOMER programında bulunan güneş paneli, akü ve dizel jeneratörden yararlanılarak modellenip analizleri yapılmştır [11].

Bursa'nın Gemlik ilçesinin elektrik ihtiyacını karşılayabilmek için hibrit yenilebilir enerji sistem tasarımı HOMER yazılımı kullanılarak yapılmıştır [12]. Kanarya Adaları'nda bulunan bir otonom tuz arıtma sisteminin enerji ihtiyacını yenilenebilir enerji sistemlerinden karşılanması amacıyla bir tasarım yapılmıştır. Yapılan bu tasarımdaki hibrit enerji sistemini HOMER programı aracılığıyla teknik ve ekonomik açıdan analiz etmişlerdir [13]. Bir gıda fabrikasının enerji tüketimi ve karbondioksit (CO_2) değerleri analiz edilmiştir. Enerji verimliliğinin artırılması, enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve çevreye salınan karbondioksit (CO_2) miktarının azaltılması amacıyla bir çalışma yapılmıştır [14].

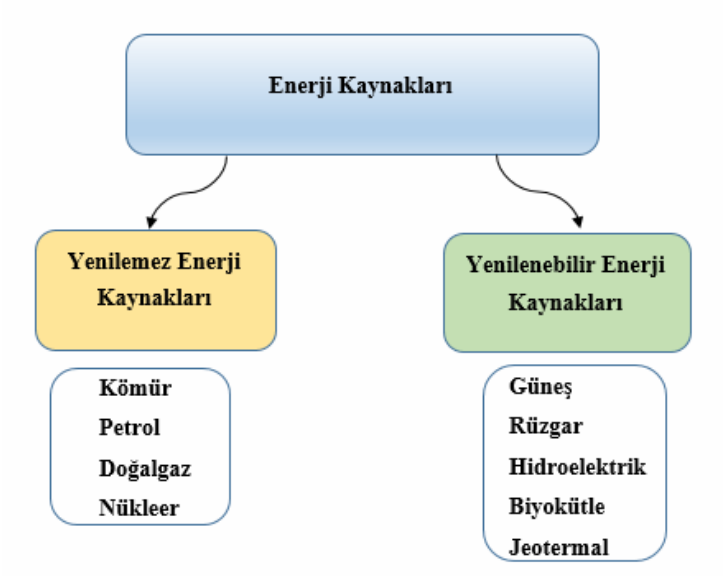
1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesinde bulunan ve şebekeye bağlı bir fabrikanın elektrik ihtiyacını karşılayabilmek için hibrit güç sistemi optimal planlaması amaçlanmıştr. HOMER Pro ve PVsyst programları kullanılarak altı farklı senaryo modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu senaryo modellerinde fabrikanın mevcut işletme durumu, yük profili, santral kurulum alan sınırları göz önünde bulundurularak analizler yapılmıştır. Analizler teknik, ekonomik ve çevresel açılardan değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerde talep karşılama oranı, yatırım maliyeti, getiri oranları, amortisman süreleri ve çevreye salınan gazlar açısından değerlendirilip önerilerde bulunulmuştur. Ayrıca karbon vergisinin ülkemizde uygulanmaya başlanması durumunda ekonomik sonuçlar açısından senaryolar tekrar analiz edilerek değerlendirilmiştir.

2
ENERJİ KAYNAKLARI VE SINIFLANDIRILMASI

2.1 Enerji Kaynakları

Enerji, toplumların gelişimi ve sürdürülebilir kalkınması açısından önemli bir unsurdur. Sanayi Devrimi'nden günümüze kadar enerjiye olan talep önemli ölçüde artmış ve bu süreçte fosil yakıtlar öncelikli enerji kaynakları haline gelmiştir. Fakat fosil yakıtları sınırlı miktarda olması, çevresel sorunlarının var olması ve iklim değişikliği gibi küresel tehditler, çevresel etkileri daha az ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelim mecburi hale getirmiştir. Bu durumlardan dolayı enerji kaynakların çeşitlendirilmesi ve yeni enerji kaynaklarını kullanmı zorunlu hale gelmiştir. Bu bağlamda, enerji kaynaklarını iki ana bölümde yenilenebilir ve yenilenemez enerji olarak ayrılabilmektedir [15]. Bu kategoriler Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Enerji kaynakların sınıflandırılması

2.1.1 Yenilenemez Enerji Kaynakları

Yenilenemez enerji kaynakları, doğada kısıtlı miktarda yer alan ve yenilenme süreçleri milyonlarca yıl süren enerji türleridir. Bu kaynaklar tüketildikçe azalmakta ve yerlerine yenilerinin oluşması doğal süreçler sonucunda mümkün değildir. Yenilenemez enerji kaynakları, sınırlı rezervlere sahip olmalarından dolayıdır ki gelecekte tükenme tehlikesiyle yüz yüzedir. Bu kaynaklar, fosil yakıtlar ve nükleer enerji olarak iki temel kısma ayrılabilmektedir [16].

Fosil yakıtlar: Yer altındaki biyolojik ve jeolojik süreçler sonucunda milyonlarca yıl süren evrimsel süreçlerle oluşan organik maddelerden türetilen enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar, kömür, petrol ve doğalgaz gibi çeşitli türler altında sınıflandırılmaktadır. Fosil yakıtlar uzun yıllardır birincil enerji tüketiminde en büyük paya sahiptir. Son yıllarda bu oran düşse de ve ileride daha da azalması beklense de, mecuttaki diğer kaynakların kullanılanımı artana kadar enerji karışımındaki ağırlığını bir süre daha koruyacaktır [17].

Kömür: Çeşitli renk ve kalitelere sahip olan, fosil kökenli ve yenilenemeyen bir yakıt kaynağıdır. Karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin birleşimiyle, ısı, basınç ve mikrobiyolojik süreçlerin etkisi altında milyonlarca sene süren bir oluşum süreci neticesinde meydana gelen önemli bir önem arz eden bir enerji kaynağıdır. En eski enerji kaynaklarından olan kömür, özellikle 19. ve 20. yüzyıllarda sanayi devrimi sırasında önemli bir enerji kaynağı olmuş ve günümüzde hala enerji sektöründe kullanılmaktadır. Bu sektörler elektrik üretiminde, çelik üretiminde ve ısıtmada yaygın olarak kullanılmaktadır [18].

Petrol: Organik maddelerin uzun yılarca basınç ve ısı etkisi sonucunda meydana gelen doğal bir enerji yenilenemez kaynağıdır. Rafine edildikten sonra açığa benzin, dizel ve jet yakıtı gibi yakıt ürünleri çıkmaktadır. Bu ürünler başta ulaşım sektörü olmak üzere çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Ayrıca petrol, dünyada enerji tüketimindeki payı oldukça yüksek olması nedeniyle ülke ekonomilerde kritik bir yere sahiptir [19].

Doğalgaz: Temel bileşeni metan (CH_4) olan yer kabuğunda doğal olarak bulunan yanıcı bir enerji kaynağıdır. Doğalgaz, enerji üretiminde, ısınmada ve sanayide yaygın olarak kullanılır. Diğer fosil yakıtlara göre yanarken daha az karbon dioksit

(CO_2) salınımı yaptığından dolayı çevreci enerji kaynağı olarak görülür. Ancak bir sera gazı olan metan çevre için risk oluşturabilir [20].

Nükleer Enerji: Atomun çekirdeklerinin bölünmesi (fisyon) veya birleşmesi (füzyon) sonucunda ortaya çıkan enerjiyle elde edilir. Şu an yaygın olarak kullanılan nükleer enerji, uranyum gibi radyoaktif elementlerin fisyonuyla elde edilir. Nükleer enerji, düşük karbon emisyonlu bir enerji kaynağı olmasına rağmen nükleer atıkların depolanması ve olası kazalar önemli endişelere yol açmaktadır. Ayrıca, nükleer santrallerin kurulumu maliyeti yüksektir [21].

Yenilenemez enerji kaynakları, insanlığın tarihsel süreçlerinin büyük bir bölümünde enerji ihtiyacını karşılamış olsa da, çevresel ve sosyal etkileri nedeniyle uzun vadede sürdürülebilirlik açısından ciddi sorunlar teşkil etmektedir. Fosil yakıtlar ve nükleer enerji, ekonomik büyüme ve sanayileşme süreçlerinde merkezi bir rol oynamıştır. Bununla birlikte, bu enerji kaynaklarının kullanımından kaynaklanan karbon emisyonları küresel ısınma ve çevresel bozulma gibi olumsuz sonuçları doğuracağından bu durumu yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişin kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmesine yol açmaktadır. Gelecek enerji stratejilerinin belirlenmesinde daha temiz ve sürdürülebilir çözümlere olan talebin giderek daha da artacağı öngörülmektedir.

2.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji, doğal kaynaklardan sağlanan çevresel sürdürülebilirlik ve ekolojik uyum açısından önemli bir enerji türü olarak kabul edilir. Bu enerji kaynakları doğal devinim halinde kendini sürekli yenileyip devamlılığını sürdüren kaynaklardır. Bunlar güneş, rüzgâr, biyokütle, jeotermal ve dalga enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar, fosil yakıtların aksine tükenmezler zamanla tükenmezler ve fosil yakıtlar olan kömür, petrol ve petrol türevleri gibi yenilenemez enerji kaynaklarına hep bir alternatif oluştururlar. Yenilenebilir enerji kaynakları, farklı sektör ve çalışma alanlarında kullanım yerine göre çeşitli şekillerde kullanılabilirler.

Güneş Enerjisi: Güneşin çekirdeğinde gerçekleşen füzyon tepkimeleri, hidrojen atomlarının birleşerek helyuma dönüşmesini sağlar ve bu süreçte çok yüksek miktarda enerji açığa çıkar. Dünya'ya ulaşan bu yüksek enerji, çeşitli yöntemlerle

kullanılabilir hale dönüşümü yapılır. Dönüşümü yapılan bu enerji çeşitli yerler farklı amaçlala kullanılmaktadır. Ayrıca, canlıların yaşam döngülerinin bazı tepkimelerinde yer aldığı için canlılık için büyük bir önem taşımaktadır [22].

Rüzgar Enerjisi: Güneş, yeryüzünü eşit şekilde ısıtmadığından dolayı sıcaklık farkları meydana gelmektedir. Farklı bölgelerde oluşan bu sıcaklık değişimleri, hava basıncının oluşmasına neden olur ve bu durum havanın hareket etmesini sağlar. Rüzgar olarak adlandırılan bu hava hareketleri, rüzgâr türbinleri yardımıyla mekanik enerjiden elektik enerjisi elde edilir. Bu sayede elde edilen elektrik enerji günlük hayatta çeşitli formlarda kullanılır. Doğrudan rüzgar enejisinin kullanıldığı yel değirmenleri, deniz taşıtları gibi yerlerde bulunmaktadır [23].

Hidrolik Enerjisi: Su, hareket ettiği veya basınç altında bulunduğu durumlarda büyük bir enerji kaynağına dönüşür. Özellikle belirli bir yükseklikten aşağıya doğru akışı sırasında, sahip olduğu potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüştürür. Bu kinetik enerji, barajlar ve su türbinleri gibi özel sistemlerle yakalanarak elektrik üretiminde kullanılır [24].

Biyokütle Enerjisi: Organik kökenli maddelerin yanması veya diğer işlemlerle enerjiye çevrilmesiyle elde edilen bir temiz enerji çeşitidir. Bu üretim sürecinde biyokütle enerji kaynaklarından faydalanılarak biyoetanol, biyodizel ve biyogaz gibi farklı yakıt türleri elde edilebilmektedir [25].

Jeotermal Enerji: Yer kabuğunun farklı derinliklerinde biriken ısı ve basınç, yüzeyin çok daha üzerinde sıcaklık değerlerinin oluşmasını sağlar. Bu yüksek sıcaklıklar sayesinde yeraltı sularının ısınarak buhar, sıcak su ve gaz formunda yüzeye taşınmasıyla bu enerji elde edilir. Elektrik üretimi, tarım ve ısıtma gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [25].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminde kullanımı, çevresel etkileri azaltmaya, enerji bağımsızlığını arttırmaya ve sürdürülebilir kalkınmayı desteklemeye yardımcı olmaktadır. Bu enerji kaynakların potansiyeli henüz tam olarak keşfedilmemiş fakat teknolojinin gelişmesiyle birlikte özellikle enerji alanında ki gelişmeler ile birlikte bu kaynakların kullanımı yaygınlaşıp sürekli hale gelecektir [26].

3
GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ

3.1 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, doğanın sunduğu en temel enerji kaynaklarından olup birçok enerji türünün kaynağını oluşturur. Fosil yakıtlar, hidroelektrik enerjisi, rüzgar enerji, termal, dalga ve biogaz enerji gibi farklı enerji formları güneşin sağladığı enerji döngüsünden doğrudan ya da dolaylı olarak türetilir. Çevre dostu ve sınırsız bir enerji kaynağı olması nedeniyle güneş enerjisi, dünya genelinde yenilenebilir enerji sistemlerinin en başında yer alır [27].

3.1.1 Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

Konutlar ve İşletmeler: Güneş enerjisi, evler ve işletmeler için sürdürülebilir ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Güneş panelleri aracılığıyla elektrik üretimi sağlanabilir ve aynı zamanda sıcak su sistemleri, ısıtma ve havalandırma sistemleri gibi farklı enerji ihtiyaçları da karşılanabilir. Bu sayede enerji maliyetleri azalırken çevresel etkiler de minimize edilmiş olur.

Kamu Binaları ve Açık Alanlar: Güneş enerjisi, kamu binaları, parklar ve diğer açık alanlar için de ideal bir enerji kaynağıdır. Sokak aydınlatmaları, park bankları ve diğer açık hava donanımlarının enerji ihtiyacı, güneş panelleri ile karşılanabilir. Bu uygulamalar, yerel yönetimlerin enerji maliyetlerini düşürmelerine olanak tanırken aynı zamanda çevreye duyarlı bir enerji politikası izlemelerine katkı sağlar [28].

Ulaşım Sektörü: Güneş enerjisinin ulaşım sektöründe kullanımı giderek artmaktadır. Özellikle elektrikli araçların şarj istasyonlarında güneş enerjisinin kullanımı, enerji maliyetlerini azaltmanın yanı sıra fosil yakıt kullanımını azaltarak çevre dostu bir ulaşım altyapısı oluşturulmasına yardımcı olmaktadır. Elektrikli

araçların güneş enerjisiyle şarj edilmesi, karbon emisyonlarını düşürerek sürdürülebilir ulaşım sistemlerine katkıda bulunur.

Tarım ve Hayvancılık: Enerji ihtiyacını karşılamak için güneş enerjisinden faydalanılmaktadır. Tarımsal sulama sistemleri ve hayvan barınakları gibi yapılar için güneş enerjisi kullanımı, enerji maliyetlerini düşürmenin yanı sıra, kırsal alanlarda sürdürülebilir bir enerji yönetimi sağlar. Bu durum, çiftçilerin enerji bağımlılıklarını azaltmalarına ve çevresel olarak daha bilinçli üretim yapmalarına olanak tanır [28].

Uzay Teknolojileri: Güneş enerjisi, uzay araştırmalarında da önemli bir rol oynamaktadır. Uzay istasyonları ve uzay araçları, enerji ihtiyaçlarını büyük ölçüde güneş panelleri aracılığıyla karşılamaktadır. Bu teknoloji, uzayda enerji üretim maliyetlerini düşürmekte ve uzun vadede sürdürülebilir bir uzay keşfi için önemli bir katkı sunmaktadır.

Sanayi Sektörü: Sanayi alanında güneş enerjisinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Büyük ölçekli fabrikalar ve üretim tesisleri, enerji maliyetlerini düşürmek ve karbon ayak izlerini azaltmak amacıyla güneş panellerine yönelmektedir. Üretim süreçlerinde ve aydınlatma sistemlerinde güneş enerjisi kullanımı, enerji verimliliğini artırırken uzun vadede maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca, güneş enerjisi kullanımı sayesinde sanayi tesisleri enerji bağımsızlığı kazanarak daha çevre dostu bir üretim yapısına kavuşmaktadır [28].

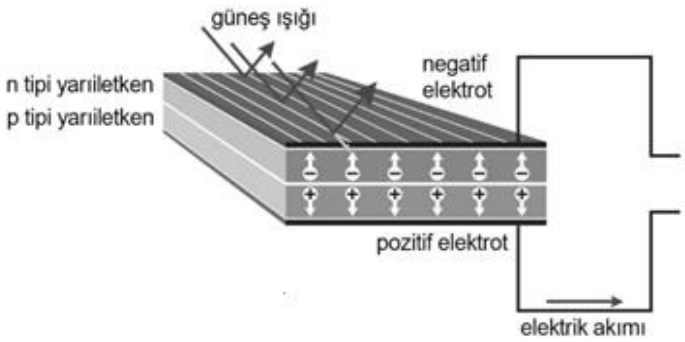
Güneş enerjisi, birçok sektörde sürdürülebilirlik ve çevre dostu özellikleriyle öne çıkan bir enerji kaynağı olarak kabul edilir. Güneş enerjisi, enerji maliyetleri düşürmesinin yanı sıra, enerji bağımsızlığı sağlaması, hava kirliliği ve sera gazı emisyonlarını azaltması gibi çevresel faydalar sunmaktadır. Gelişmekte olan ülkeler de güneş enerjisine daha fazla yatırım yaparak enerji güvenliğini artırabilir ve sürdürülebilir kalkınmaya katkıda bulunabilirler. Bu doğrultuda güneş enerjisi, küresel ölçekte artan bir önem kazanmakta ve gelecekteki enerji politikalarında merkezi bir rol oynamaya adaydır [29].

3.2 Fotovoltaik (PV) Güneş Enerji Sistemleri

Fotovoltaik sistemler, güneşten yayılan ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren çevreci alternatif bir enerji sistemdir. Bu sistemler, güneş pilleri olarak adlandırılan elektriksel ekipmanlardan oluşmaktadır. Bu piller, güneşten yayılan ışığı soğurarak ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüşümü yapan elektriksel bir yarı iletken malzemedir. Bu piller, fiziksel yapısı bakımından klasik p-n diyotlarıyla benzerlik göstermektedir. Laboratuvar araştırmalarında elde edilen çeşitli sonuçlar sayesinde farklı türlerde üretilebilmektedir.

Güneş pilinin tarihi, 1839 yılında Fransız fizikçi Edmund Becquerel'in gerçekleştirdiği deneylerle başlamaktadır. Becquerel, bir metal elektrodu ışıkla aydınlatarak gerilim üretmeyi başarmış ve bu amaçla selenyum kullanarak ilk fotovoltaik hücreyi geliştirmiştir. 1954 senesinde Bell Laboratuvarları'nda üretilen ilk silikon fotovoltaik hücre, günümüz fotovoltaik teknolojisinin temelini oluşturmuştur. Günümüzdeki fotovoltaik cihazların büyük çoğunluğu p-n yarı iletkenleri kullanılarak üretilmektedir [30].

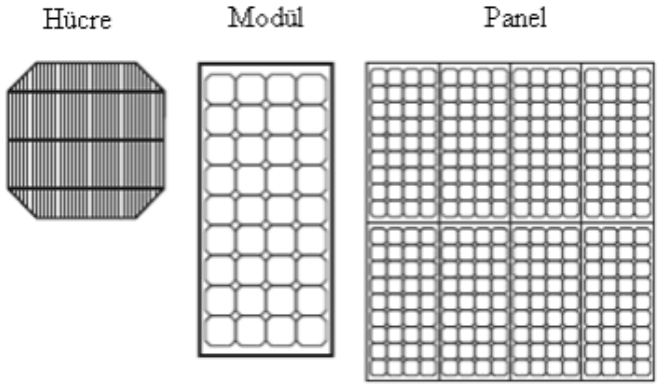
Güneş pilleri yapıldıkları malzeme ve üretim aşamasında kullanılan teknolojiye göre değişkenlik göstermektedir. Monokristal, amorf silikon, polikristal, kadmiyum gibi birçok çeşidi bulunmaktadır [31]. Güneş pilinin iç yapısının detayı Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Güneş pilinin iç yapısı [32]

Güneş pillerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulan dizilere "modül" denilmektedir. Birden fazla modülün elektriksel bağlanmasıyla "panel" yapıları meydana gelir. Bu modüller, 12 veya 24 volt gerlimindeki bir bataryayı şarj olacak

şekilde imal edilmektedir. Yüksek gerilim elde etmek için, çok sayıda güneş pili seri olarak bağlanarak modüller oluşturulmaktadır. Modüllerin sağlayabileceği elektrik akımı, yüzeyindeki düşen ışık yoğunluğuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Modül içindeki paralel bağlı güneş pillerinin kapladığı alanla doğrudan ilişkilidir. Şekil 3.2'de güneş pili hücresi, modülü ve panel ayrıntısı verilmiştir.



Şekil 3.2 Güneş pili hücresi, modülü ve paneli [32]

3.2.1 Güneş Enerji Santrali Elemanları

Güneş Paneli: Fotovolatik enerji sistemlerinin temel taşı olan güneş panelleri, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren kritik unsurlardır. Bu panellerin içerisinde silisyum bulunmaktadır ve bu sayede bu enerji dönüşümündeki işlemi yapmaktadır. Farklı kapasitelerde mevcut olan paneller, güneş hücrelerinin alanları, dizilim şekillerine göre çeşitlenmektedir. Piyasada en sık kullanımda olan paneller monokristal, ince film, polikristal, çift yüzeyli ve esnek panellerdir. Monokristal paneller yüksek verimliliğiyle sahipken polikristal paneller daha çok ekonomiktir. Esnek ve ince filimli paneller ise daha hafif ve taşınabilir yapıda oldukları için tercih edilmektedir. Çift yüzeyli paneller her iki yüzeyinden enerji üretebilme avantajından dolayı tercih edilmektedir [33].

Şarj Kontrol Cihazı: Fotovoltaik panellerden gelen doğru akımı enerjisini regüle derek sabit bir doğru akım elektrik enerjisi oluşturur. Bu cihaz, bataryaların etkin bir şekilde şarj edilebilmesi için şarj akımı ve gerilimini sürekli olarak sabit kalmasını sağlar. Güneş panelinin çıkışındaki gerilim genellikle 8 volt civarında olup akım sabitlik göstermediğinden bataryaların verimli bir şekilde şarj edilebilmesi için şarj kontrol cihazına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca batarya aşırı

şarjdan koruyarak akü dolduğunda güneş panelinden gelen elektriği kesmektedir. Bu kontrol cihazları iki temel türde bulunmaktadır. Bunlar MPPT (Maximum Power Point Tracking) ve PWM (Pulse Width Modulation) sistemlerdir [33].

Batarya: Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler enerjnin devamlılığı için sistemde olmak zorunluluğundadır. Bu sistemlerde bataryaların verimlilik ve sürdürülebilirlik açısından batarya kalitesinin oldukça önem arz etmektedir. Bataryaların şarj ve deşarj verimliliğinin iyi ve oldukça uzun ömürlü olması gerekmektedir. Ayrıca, sıcaklık ve zorlu çevre koşullarına karşı dayanıklı olmalıdırlar. Güneş enerji sistemlerinde yaygın olarak kullanılan batarya türleri arasında jel, kurşun asitli ve özel tip sulu aküler bulunmaktadır [33].

İnverter: Doğru elektrik akımın altenatif akıma dönüştüren yarı iletken malzemelerden oluşan hassas donanımlardır. Fotovolatik sistemlerinde mikro inverterler, merkezi inverterler, string inverterler, off-grid ve hibrit inverterler daha çok tercih edilmektedir. String ve merkezi inverterler uygun maliyetli olduğu için kllanılır. Mikro ve hibrit inverterleri ise daha sık bireysel ve karmaşık sistemlerde tercih edilir. Off-grid inverterler ise şebekeden bağımsız sistemlerde kullanımına rastlanmaktadır [33].

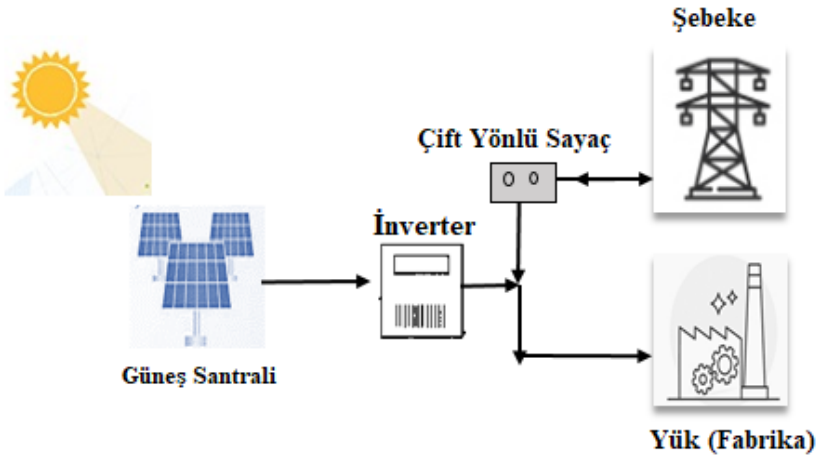
3.2.2 Güneş Enerjsi Santrali Bağlantı Çeşitleri

3.2.2.1 Şebekeye Bağlı (on-grid) Sistemler

Bu sistemler, güneş enerjisi panelleri aracılığıyla üretilen elektriğin doğrudan elektrik şebekesine entegre edilmesini sağlayan yapılardır. Bu enerji sistemlerinde güneş panelleri enerji ürettiğinde öncelikle enerji yük tarafından tüketilir; artan enerji ise şebekeye iletilir. Eğer üretilen enerji, mevcut tüketim ihtiyacını karşılamıyorsa ek enerji şebekeden sağlanmaktadır.

Şebekeye bağlı sistemlerin kullanıcılar açısından birçok avantajı bulunmaktadır. İlk olarak, güneş enerjisi ile elektrik üretimi, şebekeden sağlanan elektrik miktarını azaltarak, bu enerjinin tamamen ortadan kalkmasına yardımcı olabilir. Ayrıca, fazla enerjinin şebekeye aktarılması, kullanıcıların enerji üretiminden ekonomik fayda sağlamasına olanak tanımaktadır. Güneş panellerinin maliyetlerindeki düşüş, bu sistemlerin erişilebilirliğini artırmıştır. Bununla birlikte, şebekeye bağlı sistemler, üretilen enerjinin sürekli olarak şebekeye aktarılması sayesinde, kesintisiz bir güç

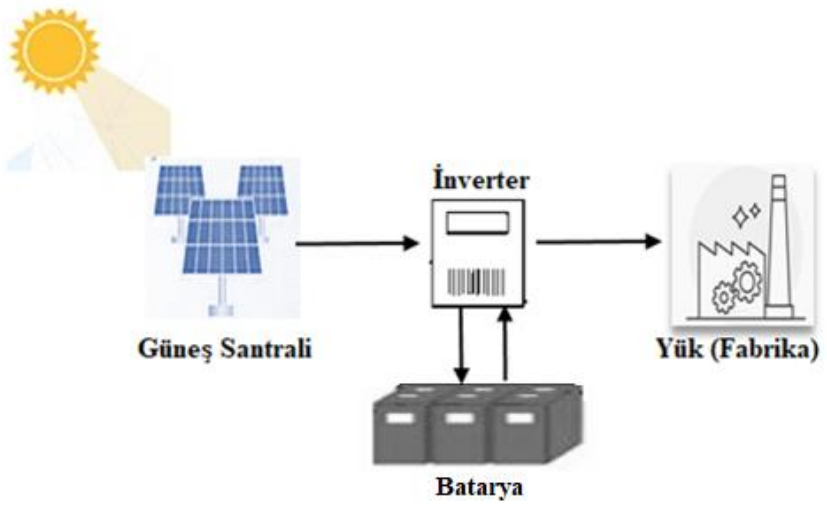
kaynağı işlevi görmektedir. Ancak, bu sistemlerin etkin çalışabilmesi için düzenli bakım ve hızlı onarım gerekliliği bulunmaktadır. Ayrıca, şebekeye enerji aktarımı sırasında belirli güvenlik ilkelerin gözetilmesi zorunludur [34]. Şekil 3.3'de şebeke bağlı sistem modeli verilmiştir.



Şekil 3.3 Şebekeye bağlı (on-grid) sistem modeli

3.2.2.2 Şebekeden Bağımsız (off-grid) Sistemler

Bu sistemlerde, elektrik şebekesi ile bağlantısı bulunmayan ve tam anlamıyla otonom bir şekilde işlev gören güneş enerjisi sistemleri olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemler, genellikle izole yerleşim alanları, kırsal bölgeler veya acil durum senaryolarında kullanılmaktadır. Ayrıca, elektrik şebekesine erişimin sağlandığı durumlarda, kullanıcıların enerji faturalarını azaltmaları veya kendi enerji ihtiyaçlarını tam olarak karşılayabilmeleri amacıyla da tercih edilebilir. Şekil 3.5'de şebekeden bağımsız bir sistemin bağlantı şeması verilmiştir. Bu sistemler, tipik olarak bir dizi güneş paneli, bir veya daha fazla batarya, bir şarj kontrol cihazı ve bir invertör içermektedir. Güneş panelleri, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmekte; şarj kontrol cihazı, bataryaların aşırı şarj veya deşarj durumlarını önleyerek, bataryaların ömrünü uzatmaktadır. İnvertör ise, bataryalardan elde edilen doğru akımı alternatif akıma çevirerek, alternatif akım cihazların kullanımına uygun hale getirmektedir [34].



Şekil 3.4 Şebekeden bağımsız (off-grid) sistem modeli

4
BAĞLI OLDUĞUMUZ ÇEVRE ANLAŞMALARI VE KARBON VERGİSİ

4.1 İklim Değişikliğiyle Mücadelenin Önemi

İklim değişikliğiyle mücadelenin yalnızca bir çevre problemi olmadığı bunun yanında ülkelerin enerji politikalarını, büyüme stratejilerini, su kaynaklarını ve tarım programlarını doğrudan etkileyen önemli bir konudur. Bu mücadelede özellikle gelişmiş ülkelerin ekonomik destek, teknolojik değişim ve yetkinlik artırımı konularında verdikleri taahhütlerin uygulanması, büyük bir önem taşımaktadır. Türkiye'nin dahil olduğu Akdeniz iklim havzası, iklim değişikliğine karşı hassas bölgelerden biri olarak görülmektedir. Akdeniz bölgesinde sıcaklık artışının, diğer bölgelere göre %20 daha fazla olduğu ve 2040 yılına kadar 2,2 °C ulaşmasının beklendiği belirtilmektedir.

Türkiye, dünyada olduğu gibi su kaynaklarının tükenmesi, kuraklık, sel baskını ve orman yangınları gibi çevresel zorluklarla son yıllarda sıklıkla karşı karşıya kalmaktadır. Bu sorunların etkilerini en aza indirmek ve çevreye verilen zararları engellemek amacıyla çeşitli önlemler alınması zorunlu hale gelmektedir. Global kalkınma amaçları için ulusal düzenlemeler yapılmakta, ikili işbirlikleri güçlendirilmekte ve uluslararası platformlarda sıkla yer alınmaktadır. Türkiye, bu özverilerle gelecek nesillere sağlıklı ve temiz yaşanabilir bir çevre bırakabilmeyi hedeflemektedir [35].

4.2 Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolü

1985 yılında kabul edilen Viyana Sözleşmesi, ozon tabakasını incelten maddelerin azaltılmasıyla ilgili ilk büyük adımı atmış ve ardından 1987'de Montreal Protokolü yürürlüğe girmiştir. Bu protokol, ozon tabakasına zarar veren maddelerin kullanımını ve üretimini sınırlandırmayı amaçlayan küresel bir anlaşmadır.

Montreal Protokolü, 1990 senesinde Londra'da Çok Taraflı Fon (MLF) ile gelişmiş ülkelerin katkılarıyla kurulmuştur. 196 ülke yer alan bu protokolde, çevre konularında çok taraflı iş birliğinin en başarılı örnekleri içerisinde yer almaktadır. Protokol, o dönemde kesinleşmemiş bilimsel bulguları referans alarak insan kaynaklı ozon tabakasına zarar veren maddelerin kısıtlanması için küresel bir işbirliği oluşturmuştur. Bu model, daha sonra iklim değişikliği rejimine emsal olup aynı zamanda BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS)'nin temelini oluşturmuştur.

2016 yılında, Kigali'de düzenlenen 28. Taraflar Toplantısı ile Montreal Protokolü'ne hidroflorokarbonlar (HFC'ler) eklenmiş ve bunların aşamalı olarak azaltılması amacıyla plan oluşturulmuştur.Kigali Değişikliği, hidroflorokarbonların 2040'ların sonuna kadar %80-85 oranında azaltılmasını ve bu değişiklik sayesinde 2100 yılına kadar küresel sıcaklık artışını 0,5°C azaltmayı amaçlamıştır. Kigali Değişikliği, 15 Kasım 2016'da kabul edilmiş ve Montreal Protokolü, 2019 yılı itibariyle uygulanmaya başlamıştır. Türkiye, bu uluslararası anlaşmaya 19 Aralık 1991 tarihinde dahil olmuş ve protokoldeki bahsi geçen bütün değişiklikleri kabul edilerek uygulamaya sokmuştur. Türkiye, gelişmekte olan ülkeler arasında protokolün gereklerini başarıyla yerine getiren ve bu alanda örnek teşkil eden ülkelerden biridir. Ayrıca, 1995 yılından itibaren her sene 16 Eylül tarihinde ozon tabakasını koruma amaçlı kutlamalar yapılmaktadır. Bu özel gün, ozon tabakasının korunmasının önemi hakkında farkındalık yaratmak ve küresel düzeyde çevre bilincini artırmak amacıyla çeşitli etkinlikler düzenlenerek insanlar bilinçlendirilmektedir [36].

4.3 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi

Ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltmalarını teşvik eden ve bu süreçte teknoloji transferi, araştırma iş birliği ve sera gazı azaltıcı önlemlerin korunmasını destekleyen bir platformdur. Sözleşme, ülkelerin kalkınma seviyeleri ve özgün koşulları gözönüne alınarak paylaşılan fakat çeşitlendirilmiş sorumluluklar ile değişen yetkinlikler anlayışındadır. Bu hedef, ülkelerin farklı gelişmişlik düzeylerini gözeterek iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir yaklaşım sağlamayı amaçlamaktadır. 1994 yılı Mart ayı itibariyle sözleşme yürürlüğe girmiştir, 196 ülke ile beaberinde Avrupa Birliği'nin (AB) de desteklediği bir

anlaşmadır. Türkiye, bu Sözleşme'ye 24 Mayıs 2004 tarihinde dahil olup taraflar arasında yer almaktadır. Türkiye, BMİDÇS kapsamındaki müzakerelerde kendine ait bir duruma sahiptir. Sözleşmenin iki ana uygulaması bulunmaktadır: Birincisi Kyoto Protokolü, ikincisi Paris Anlaşması'dır [37].

4.4 Kyto Protokolü

B.M.İ.D. Çevre Sözleşmesi kapsamında geliştirilen ilk uygulama anlaşması, 1997 yılında taraflar tarafından kabul edilmiştir. Bu önemli adım, küresel iklim hedeflerini somutlaştırmak amacıyla atılmış ve 2005 yılında resmileşerek uygulanmaya başlanmıştır. İki farklı taahhüt dönemine sahip olan protokolün ilk dönemi 2008-2012 yıllarını kapsar. Bu dönemde, sera gazı salınımlarını 1990 senesine seviyesine kıyasla en düşük %5 oranda azaltmaları yükümlülüğü getirilmiştir. Protokolün ikinci taahhüt yılları ise 2013-2020 seneleri arasını kapsamaktadır. Bu dönemde, sera gazı emisyonlarının 1990 yılına göre en az %18 oranında azaltılması hedeflenmiştir. Ancak birinci dönemde yükümlülük altına giren Avustralya, Kanada, Japonya ve Rusya ikinci dönemde herhangi bir taahhütte bulunmamıştır.

Kyoto Protokolü'nün ikinci taahhüt döneminin yürürlüğe girebilmesi için 144 ülkenin onayı gerekliydi ve bu süreç ancak 31 Aralık 2020 tarihinde tamamlanabilmiştir. Ancak 2020 yılında Paris Anlaşması'nın devreye girmesiyle birlikte, Kyoto Protokolü'nün ikinci taahhüt dönemi sadece resmi olarak kabul edilmiş protokol ise fiilen sona ermiştir. Ülkemiz, 2009'da Kyoto Protokolü'ne taraf olmuştur ve bu tarihten itibaren iklim değişikliğiyle mücadele kapsamında önemli adımlar atmaya başlamıştır. Fakat Kyoto Protokolü 1997 kabul senesinde Türkiye henüz BMİDÇS'ye dahil olmadığından dolayı sera gazı salınımlarını sınırlandırılması gibi sayısal yükümlülükler ülkeler arasında bulunmamaktadır [38].

4.5 Paris Anlaşması

Bu anlaşma 2015 yılında yapılan B.M.İ.D. Çevre Sözleşmesi 21. Taraflar Konferansı sonucunda Fransa'n Paris şehrinde kabul edilmiştir. Bu anlaşma, 2020 sonrası iklim değişikliği rejiminin temel çerçevesini oluşturmakta ve tüm ülkelerin

sera gazı emisyonlarını azaltma taahhüdünde bulunduğu ilk global anlaşmadır. Anlaşma, 4 Kasım 2016 tarihinde uygulanmaya başlanmıştır.

Paris Anlaşması ile erişilmesi istenen temel amaç, sanayileşme öncesindeki döneme göre global anlamda sıcaklığın artışını 2°C'nin altında tutabilmek ve 1,5 °C hedefini yakalamaktır. Anlaşma, "ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar" ilkesine dayanmaktadır; bu, ülkelerin kendi koşullarına uygun sorumluluklar üstlenmesini sağlar.

Ayrıca, Türkiye'nin 2053'de emisyonu sıfır yapmayı amaçlamştır. Paris Anlaşması'nın uygulama esaslarının ayrıntılarını kapsayan Paris Anlaşması Çalışma Programı üzerinde görüşmelerde bulunmuştur.

Türkiye, anlaşmayı 22 Nisan 2016'da imzalamış olup 7 Ekim 2021'de ise onaylamıştır. 2030 yılı için %21 emisyon azaltım hedeflemişken COP 27'de bu hedefi %41'e yükseltmiştir. 2023'te Birleşik Arap Emirliklerinde yapılmış olan COP 28 ise fosil yakıtlardan uzaklaşmada önemli adımlar atılmıştır [38].

COP29 2024 yılında Azerbaycan'ın, COP30 ise 2025 yılında Brezilya'nın ev sahipliğinde düzenlenecektir. Paris Anlaşması, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir bakış açısı sunup tüm ülkelerin katkıları için ön ayak olmaktadır [39].

4.6 Karbon Vergisi ve Emisyon Ticaret Sistemi

Karbon vergisi, belirlenen sera gazı salınım sınırlarını aşılması durumunda her bir ton karbon emisyonu için ödemek zorunda olunan bir vergi çeşididir. Bu vergi, hükümetler tarafından sera gazı emisyonlarını kontrol altına alarak azaltma amacıyla uygulanan bir caydırma mekanizması olarak işlev görmektedir. Karbon vergisinin temelindeki hedef büyük sanayi kuruluşlarının sebep olduğu sera gazı emisyonlarını azaltmaktır. Bundan dolayıdır ki tüm üreticiler karbon vergisine tabi değildir ve bireyler için böyle bir vergi uygulaması dünya genelinde mevcut değildir [40].

Karbon vergisinin temel prensibi, çevresel maliyetlerin ekonomik fiyat mekanizmalarına entegre edilmesidir. Normalde çevresel etkilerin dışsallık olarak adlandırıldığı durumlarda, piyasa mekanizmaları genellikle bu maliyetleri yeterince yansıtamamaktadır. Karbon vergisi, sera gazı salınımına neden olan faaliyetlere doğrudan bir mali yük getirerek bu dışsallıkları azaltmayı amaçlar. Böylece karbon

salınımını azaltan teknolojilere ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi hızlandırmaktadır. Bu mekanizma, çevresel sürdürülebilirliği destekleyerek, ekonomik ve ekolojik dengenin sağlanmasına önemli bir katkıda bulunur [41].

Emisyon Ticaret Sistemi (ETS), sera gazı emisyonlarının çevresel maliyetlerini, piyasa mekanizmaları aracılığıyla salınımı yapanlara yansıtan bir yaklaşımdır. Bu sistemde, belirli sektörlerdeki işletmelere belirli bir emisyon izni kotası verilir ve bu izinler, emisyonların kontrol altında tutulmasını sağlar. Ancak, ETS'nin başarılı olabilmesi için, doğru sektörlerin seçilmesi emisyonların doğru şekilde hesaplanması ve etkili bir izleme-raporlama sürecinin işletilmesi büyük önem taşır. Ayrıca, karbon fiyatının yüksek ve istikrarlı olması, işletmeleri daha çevre dostu üretim yöntemlerine yatırım yapmaya yönlendirecek ve sistemin etkinliğini artıracaktır [42].

Karbon vergisinde, her bir ton karbon emisyonunun fiyatı önceden belirlenir, ancak bu fiyatın ne kadar emisyon azaltacağı kesin olarak bilinemez. Emisyon ticaretinde ise, emisyon miktarının ne kadar azalacağı baştan belirlenirken emisyon fiyatı belirsizdir ve piyasadaki talep ve arzla şekillenir. Bu nedenle, karbon vergisinde emisyon azaltımı konusunda belirsizlik varken, ETS'de karbon fiyatı belirsizdir. Hangi aracın tercih edileceği ise, politik yapıcıların belirlediği hedeflere bağlıdır [43].

İki karbon fiyatlandırma aracı arasındaki bir diğer fark ise kapsanan karbon emisyonları üzerinedir. Emisyon ticaret sisteminde belirli sektörler bulunduğundan genellikle küçük ölçekli emisyon salıcıları kapsam dışında kalmaktadır. Karbon vergisi ise karbon temelli tüketimlerin tamamını kapsayabilmektedir [44].

4.6.1 Karbon Vergisinin Avantajarı

Karbon vergisi, sera gazı emisyonlarının azaltılmasında önem arz eden bir kritikliği sahiptir. Bu vergi, kaynakların sınırsız olmadığı dünyada doğanın korunması ve sürdürülebilir bir yaşam alanının sağlanabilmesi için günümüz dünyasında kaçınılmaz bir gereklilik haline gelmiştir. Karbon vergisinin sağladığı çeşitli avantajlar bulunmaktadır.

- **Uygulama Kolaylığı:** Karbon vergisi, basit yapısı sebebiyle kolaylıkla uygulanabilen bir vergi türüdür.

- **Şeffaflık:** Bu vergi, toplum tarafından anlaşılabilir ve açık bir yapıdadır; vergi oranı belirlendikten sonra piyasa koşullarına göre zaman ile revize edilebilir.
- **Enerji Fiyatlarının Öngörülebilirliği:** Karbon vergisi, enerji fiyatlarının tahmin edilmesine katkı sağlar, bu da piyasa bulunanların planlama yapmasına yardımcı olur.
- **Fiyat İstikrarı:** Karbon vergisinde fiyat istikrarı büyük önem taşımaktadır; bu durum, dalgalanmalardan kaçınılmasına olanak tanır.
- **Gelir Yaratma:** Karbon vergisi, ekonomik kaynak getirisi potansiyeline sahiptir ve bu gelir, emekten ziyade kirlilik gibi olumsuz faaliyetlerden elde edilmektedir.
- **Emisyon Azaltımı:** Son olarak, en önemlisi olan karbon vergisi uygulamaları, sera gazı salınımının azaltılmasına doğrudan katkıda bulunur.

Bu nedenlerle, karbon vergisi, çevresel sürdürülebilirliği teşvik eden etkili bir araç olarak görülmektedir [45].

4.6.2 Karbon Vergisinin Dezavantajları

Karbon vergisi uygulamaları, çeşitli zorluklar ve sınırlamalarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu vergi uygulamasından oratya çıkan zorlukları içinde öne çıkanlar bunlardır:

- **Politik Uygulanabilirlik:** Karbon vergisinin mevcut vergi sistemine entegre edilmesi ek bir vergi yükü yaratma durumuna sahiptir. Bu durum, siyasi istikrarı etkileyebilir ve halkın bu uygulamaya karşı bakışını olumsuz yönde etkileyebilir.
- **Uluslararası İşbirliği Gereksinimi:** Karbon vergisinin etkili bir şekilde uygulanabilmesi için uluslararası bir işbirliği gerekmektedir. Ancak, bu verginin ulusal düzeyde uygulanma olasılığı daha yüksek olduğundan küresel ölçekte uyum sağlama zorluğuna yol açmaktadır.
- **Emisyon Azaltımında Belirsizlik:** Karbon vergisi uygulamalarının başarısız olabilmesinin bir nedeni emisyon azaltımı konusunda net olmayan

durumlardır. Hedeflenen emisyon düşüşlerinin sağlanamaması verginin etkinliği konusunu sorgulatmaktadır.

- **Azalan Oranlılık:** Karbon vergisinin azalan oranlı olması, enerji ve enerji yoğun ürünlerin fiyatlarında atış ve azalışlara yol açabilmektedir. Bu durum, piyasa bazı dinamiklerini olumsuz etkileyebilir [46].
- **Fiyat İstikrarı Üzerindeki Etkileri:** Karbon vergisi, fiyat istikrarını bozarak enflasyon ve işsizlik gibi ekonomik sorunlara neden olabilme durumuna sahiptir. Bu durum, hem bireyler hem de işletmeler için olumsuz sonuçlar doğurabilir [47].

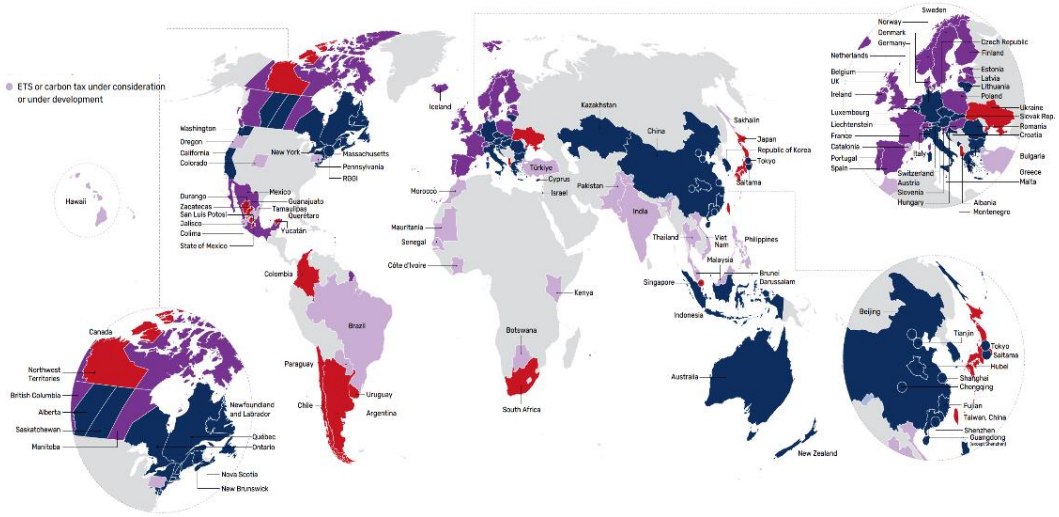
Bu faktörler, karbon vergisi uygulamalarının etkinliği ve sürdürülebilirliği durumlarını sorgulatan önemli hususlar arasında yer almaktadır.

4.6.3 Karbon Vergisi ve Emisyon Ticaret Sistemini Uygulayan Ülkeler

Karbon vergisi uygulaması, 1990 yıllarında Finlandiya'da fosil yakıtların sebep olduğu karbon emisyonlarını azaltmak için uygulanmaya başlanılmıştır. Sonraki yıllarda ise Norveç ve İsveçre de uygulamalara geçilmiştir. Ülkelerin emisyon azaltım hedeflerini erişmesi için farklı politika araçlarını sağlayan Kyoto Protokolü destekleriyle bu sistemlerin kullanmalarına olanak sağlamıştır. Bu bağlamda Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi'ni (EU ETS) 2005'de başlangıç yaparak uygulamaya geçilmiştir.

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi dünyada birçok ülke karbon vergisini uygulamaya geçmiş bazı ülkeler hazırlık aşamasında bulunmaktadırlar. İngiltere, Avustralya, Hollanda, Polonya, Norveç, Portekiz, Danimarka, İsviçre ve Japonya gibi birçok ülke uygulama geçmiş Endonezya, Pakistan, Brezilya, Brunei, Sırbistan Rusya, Tayland, Vietnam ve Türkiye karbon vergisi uygulaması için hazırlık aşamasında olan ülkeler arasında yer almaktadır. Bu ülkelerin karbon vergisi uygulamaları, küresel iklim değişikliği mücadelesinde hatırı saylır bir strateji olarak değerlendirilmektedir [48]. Dünya genelinde uygulamada olan 75 karbon fiyatlandırma mekanizması bulunmaktadır ve bu mekanizmalarla küresel sera gazı emisyonlarının %24'ü kapsam altına alınmıştır. Dünyada karbon fiyatlandırmasına ETS ve karbon vergisi uygulandığı (koyu mavi), ETS uygulandığı (mor), karbon vergisi uygulandığı (kırmızı) ETS veya karbon vergisi değerlendirme ya da

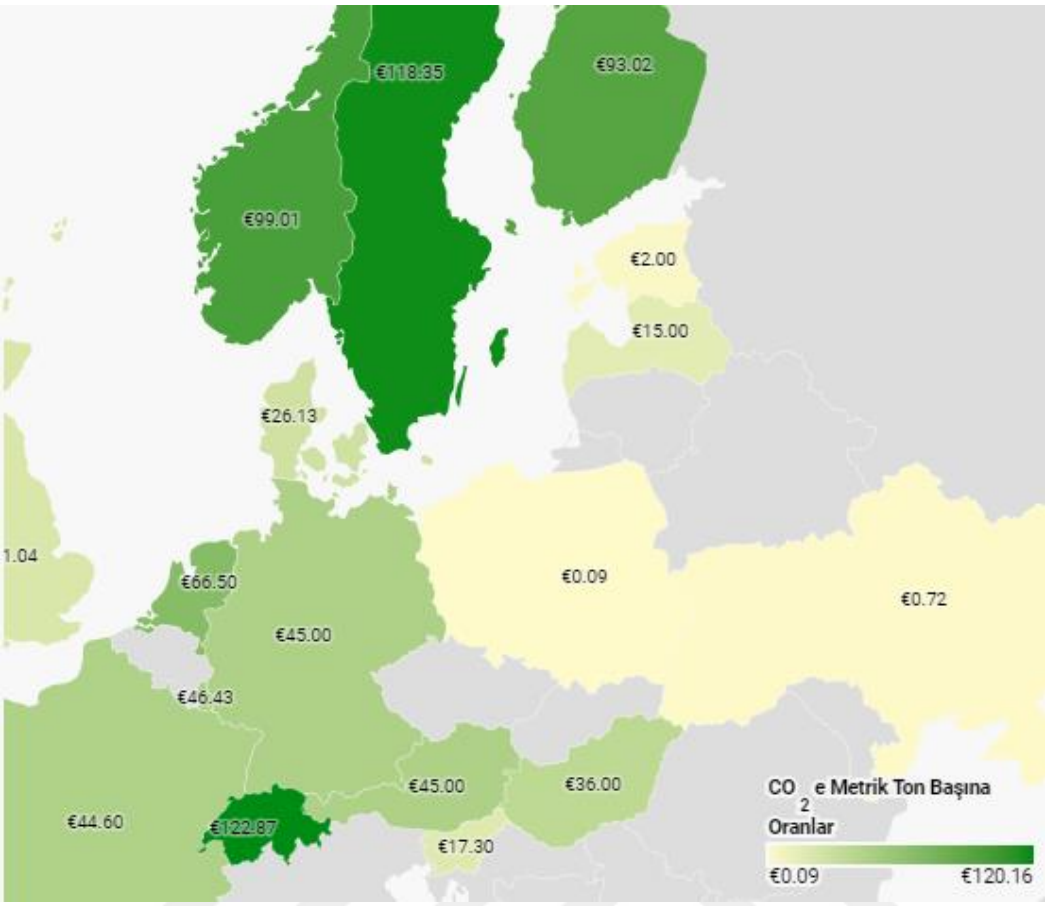
geliştirme aşamasında (açık mor) ile Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Karbon vergisi ve ETS'nin uygulandığı ülkeler [49]

4.6.4 Avrupa'da Karbon Vergileri

Son yıllarda, birçok ülke karbon emisyonlarını azaltmak için çevre düzenlemeleri, emisyon ticareti sistemleri (ETS'ler) ve karbon vergileri gibi önlemler aldı. Finlandiya, karbon emisyonlarını azaltmak için karbon vergisi uygulayan ilk ülke olduğu o tarihten bu yana 23 Avrupa ülkesinde de uygulamaya geçmiştir. Ukrayna'da metrik ton karbon emisyonu başına 1 avrodan az, İsveçre, Lihtenştayn ve İsviç'de ise 100 avrodan daha fazla olmak üzere karbon vergileri uygulamaya koyulmuştur. Dünya Bankası karbon fiyatlandırma panosu baz alıarak hesaplanan metrik ton CO_2e başına karbon vergileri Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Ülkelerin 2024 yılı Nisan ayından itibaren geçerli EUR-USD döviz kuru dikkate alınmıştır [50].



Şekil 4.2 Avrupa'daki ülkelerin karbon vergi oranları [50]

İsviçre ve Lihtenştayn, şimdi ton başına 122,8 € (132,1$) ile en yüksek karbon vergisi oranını uyguluyor. Bu iki ülkeyi İsveç 118,3 € (127,2 $) ile Norveç 99,0 € (107,78 $) takip etmektedir. En düşük karbon vergisi oranları ise Polonya'da 0,09€ (0,10 $), Ukrayna'da ise 0,72 € (0,77 $) olduğu görülmektedir. 23 Avrupa ülkesi arasındaki ortalama karbon vergisi oranı 2024 yılı Nisan ayı itibarıyla 49,23 € (53,00 $) olarak belirlenmiştir. Karbon vergisi, karbondioksit, metan, azot oksit ve florlu gazlar gibi çeşitli doğaya zarar veren gazlara uygulanmaktadır [50].

Her ülkenin karbon vergisinin kapsamı farklılık göstermektedir. Bu durum verginin hangi sera gazı emisyonlarının ne kadarını kapsadığı konusunda değişkenlik yaratıyor. Örneğin, İspanya'da karbon vergisi sadece florlu gazlar için uygulanmaktadır. Fakat bu ülkenin toplam sera gazı salınımların yalnızca %2'sini kapsamaktadır. Buna karşın, Arnavutluk, Lihtenştayn ve Lüksemburg da uygulanan vergi sera gazı emisyonlarının %72'sinden fazlasını kapsamaktadır.

Avrupa Birliği'nin tüm üye devletleri (İzlanda, Litvanya ve Norveç dahil) AB Emisyon Ticaret Sistemi (AB ETS) çerçevesinde sera gazı emisyon izinlerinin

ticaretine katılmaktadır. İsviçre, Ukrayna ve Birleşik Krallık hariç, karbon vergisi uygulayan tüm Avrupa ülkeleride bu sistemin birer parçasıdır. İsviçre, Ocak 2020'den beri kendi ETS'sini uygulmaktadır. Brexit sonrası, Birleşik Krallık ise 2021 yılı ocak ayından beri kendi ETS'sini kurmuştur.

Bazı ülkelerde (örneğin Estonya, Finlandiya, Letonya ve Norveç), ulusal karbon vergi tabanı, AB ETS ile örtüşmekte ve bu durum çifte vergilendirme sorunlarına yol açmaktadır. Ulusal karbon vergileri, ETS kapsamındaki emisyonlara uygulandığında emisyonları vergi tabanlarının dışındaki kaynaklara yönlendirme durumunda olduğu için ETS kapsamındaki toplam emisyonları değiştirmemektedir. Fakat yalnızca emisyonların hangi kaynaklardan geleceğini etkileyebilir. Bazı ülkeler ise karbon emisyon kaynaklarına farklı oranlarda birden fazla tüketim vergisi veya ETS uygulamaktadır. En ideal olan uygulama ise karbon vergisinin tüm sektörlerde eşit oranda uygulanmasıdır.

Son yıllarda birçok Avrupa ülkesi karbon vergisi veya ETS uygulamaya başlamıştır. Almanya ve Avusturya, sırasıyla 2021 ve 2022'de karbon vergisi uygulamış ve bu vergiler 2026 yılına kadar ETS'lere dahil edilmesi planlamaktadır. Arnavutluk ve Macaristan, sırasıyla 2022 ve 2023'te karbon vergisi uygulamaya geçmiştir. Katalonya özerk bölgesi de ulusal düzeyde bir karbon vergisi getirmeyi planlamaktadır. Bu vergi miktarı Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Avrupa'daki ülkelerin karbon vergisi fiyatları [50]

	Karbon Vergisi Oranı (Ton/CO_2)	
Ülkeler	**Euro** (€)	**Dolar** ($)
Arnavutluk (AL)	12,19	13,11
Avusturya (AT)	45,00	48,37
Danimarka (DK)	26,13	28,10
Estonya (EE)	2,00	2,18
Finlandiya (FI)	93,02	100,02
Fransa (FR)	44,60	47,96
Almanya (DE)	45,00	48,39
Macaristan (HU)	36,00	38,71
İzlanda (IS)	33,95	36,51
İrlanda (IE)	56,00	60,22
Letonya (LV)	15,00	16,13
Lihtenştayn (LI)	122,87	132,12
Lüksemburg (LU)	46,43	49,92
Hollanda (NL)	66,50	71,51
Norveç (NO)	99,01	107,78
Polonya (PL)	0,09	0,10
Portekiz (PT)	56,25	60,48
Slovenya (SI)	17,30	18,60
İspanya (ES)	15,00	16.13
İsveç (SE)	118,35	127,26
İsviçre (CH)	122,87	132,12
Ukrayna (UA)	0,72	0,77
Birleşik Krallık(GB)	21.04	22,62
Ortalama	**49,23**	**53,00**

4.6.5 Karbon Vergisinin Türkiye'de Uygulanabilirliği

Karbon vergisi, küresel ısınma, iklim değişikliği ve çevre tahribatını azaltmak amacıyla, fosil yakıtların türü ve miktarına bağlı olarak uygulanan dolaylı bir satış ve salınım vergisidir. Çevreci vergi sistemlerini benimseyen ülkeler, sera gazı salınımına yol açan petrol, doğalgaz ve kömür gibi enerji kaynaklarına yönelik karbon vergisini uygulamaya koymuşlardır. Bu tür vergiler, çevrenin korunması ve iklim değişikliği ile mücadelede, mal ve hizmetlerin fiyatlarında önemli değişiklikler yaratabilmektedir. Dolayısıyla bu vergiler aracılığıyla çevresel müdahaleler gerçekleştirilirken devletler de gelir elde edebilmektedir [51]. Paris İklim Anlaşması'nın ardından, Avrupa Birliği, çevre sorunlarının önlenmesi

amacıyla Yeşil Mutabakat çerçevesinde sınırda karbon düzenlemesi mekanizmasını devreye sokmuş ve karbon vergisini gündeme getirmiştir. Küresel ticaretin entegrasyonu, çevreci politikaları benimseyen ülkeler arasında karbon vergisi uygulamalarını yaygınlaştırmıştır. Ancak Türkiye, karbon vergisi uygulayan ülkeler arasında yer almamaktadır. Türkiye'de dolaylı olarak çevresel ve sosyal maliyetleri azaltmaya yönelik bazı vergiler mevcut olsa da bu vergilerin uygulama amacı esasen mali kaynak sağlamaktır.

Türkiye'deki çevresel sorunların azaltılmasına yönelik mevcut vergiler bulunmaktadır. Bu vergiler, çevreyi koruma amacı taşımaktan ziyade devletin mali yükümlülüklerini karşılamaya yöneliktir. Örneğin, Türkiye'de Motorlu Taşıtlar Vergisi, taşıtın yaşı ve değeri gibi unsurlara göre belirlenmekte, ancak bu unsurlar çevresel kaygılarla değil ekonomik faktörlerle belirlenmektedir.

Türkiye'nin karbon salınımı, ekonomik büyüme ile doğru orantılı bir ilişkiye sahiptir. Ekonomik büyüme, çimento, demir-çelik, makine-otomotiv ve petro-kimya gibi enerji yoğun bir şekilde ihtiyaç duyan ve tüketen sektörlerin büyüyüp gelişmesiyle doğrudan ilişkilidir. Avrupa Yeşil Mutabakatı doğrultusunda, bu sektörlerde karbonsuz üretim tekniklerinin benimsenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde Türkiye'nin Avrupa Birliği'ne yapacağı ihracat, sınırda karbon düzenlemesi gereği ek maliyetlerle karşılaşacaktır [52].

Avrupa Yeşil Mutabakatı, Türkiye'nin karbon ayak izinin belirlenmesini ve şeffaflığın artırılmasını öngörmektedir. Bu, yeşil üretim tekniklerine geçiş için Avrupa Birliği tarafından sağlanacak finansman yardımının ön koşullarındandır. Sektörlerin üretim tekniklerinde dönüşüm sağlanmadıkça Türkiye'nin karbon vergisi uygulamaları, mal ve hizmetlerin fiyatlarını artırarak uluslararası ticarette rekabet gücünü sınırlayacaktır.

Sonuç olarak Türkiye'nin mevcut ekonomik büyüme stratejisi ve karbon kaynaklı enerji kullanımı, karbon vergisinin uygulanmasını kısıtlamaktadır. Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın gerekliliklerinin yerine getirilmemesi durumunda, Türkiye uluslararası ticarette ek karbon yükleri ile karşılaşacaktır. Ancak, bu durum, Türkiye'nin üretim teknikleri ve enerji tercihlerinde bir dönüşüm sağlama fırsatı olarak değerlendirilebilir. Bu nedenle, Türkiye'nin yeşil üretim tekniklerini benimsemesi ve karbon kaynaklı enerji yerine yeşil enerji kaynaklarını kullanması

sürdürülebilir bir ekonomik büyüme için elzemdir. Ayrıca, araştırma bulguları, karbon vergisinin, yenilenebilir enerji arzını teşvik eden önemli bir araç haline geldiğini göstermektedir [53].

4.6.6 Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması ve Türkiye'ye Olası Etkileri

Avrupa Yeşil Mutabakatı, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla politik ve ekonomik uygulamaları bir araya getiren kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Bu süreçte yenilenebilir enerji, sürdürülebilir gıda sistemleri ve çevre kirliliğinin azaltılması gibi çeşitli hedefler belirlenmiştir. Bu hedeflere ulaşmada önemli bir araç olan bu düzenleme, özellikle ihracat odaklı sektörler için ciddi sonuçlar doğuracak bir mekanizma olarak dikkat çekmektedir [54].

AB'nin 2050 yılına kadar sera gazı salınımını sıfır yapma hedefine ulaşabilmesi maksadıyla uyguladığı politikalar, hem piyasa içinde hem de dışında ek maliyetler doğuracaktır. Bu durum, karbon salınımı azaltma hedefi olmayan ülkelere yönelme riskini, yani karbon kaçağını gündeme getirmektedir. Bu bağlamda, AB'nin rekabet gücünü korumak ve iklim değişikliği ile mücadelede etkin bir yaklaşım geliştirmek için SKD Mekanizması'nın uygulanması gereklidir.

Bu mekanizmanın amacı, ekonomik teşvikler aracılığıyla devletleri ve şirketleri iklim dostu yatırımlar yapmaya ve çevreye duyarlı uygulamalar benimsemeye yönlendirmektir. SKDM, AB içindeki Emisyon Ticaret Sistemi (ETS)'nin bir genişlemesi olarak ortaya çıkmıştır. Artık, AB dışındaki şirketler de Avrupa'ya ihracat yaparken karbon salınımlarını belirli bir seviyeye düşürmek zorundadır. Bunu sağlamak için yatırımlar yapabilir veya SKDM sertifikaları satın alabilirler. Aksi takdirde, AB ülkeleri tarafından uygulanan para cezalarıyla karşı karşıya kalacaklardır.

SKD, Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Sistemi (EU-ETS) kapsamında, karbon kaçağı riskini önlemeyi hedeflemektedir. 2005 yılından beri uygulanan bu sistem, belirli sektörlerdeki tesislerin emisyon haklarını belirleyerek, bu hakların yıllar içinde azaltılmasını sağlamaktadır. Karbon kaçağı riski taşıyan sektörlerde, tesislere emisyon hakları ücretsiz verilmektedir. Aksi takdirde, aşım gerçekleştiğinde, ek maliyetler oluşmaktadır. SKD Mekanizması, AB tarafından 2023-2025 yılları arasında bir geçiş dönemi olarak planlanmıştır. Bu dönemde,

Türkiye'nin de dahil olduğu ülkelerden yapılan ithalatlar için karbon salınım düzeyinin bildirilmesi gerekecektir. 2026 yılında uygulamanın tam olarak başlaması beklenmektedir. SKDM ile Avrupa Birliği, ilk olarak elektrik, çimento, alimünyum, hidrojen, demir-çelik ve gübre sektörlerine ilişkin ihtal ve yerli olmak üzere ürünlerin dahil olduğu karbon tutarını eşitlemeyi hedeflemektedir.

Avrupa Birliği, Türkiye'nin dış ticaretinde en büyük paya sahiptir. Türkiye'nin toplam ihracatının yarısına yakını AB ülkeleri gerçekleştirilmektedir. 2022 verilerine göre, Türkiye'nin çelik, demir, çimento ve elektrik gibi ürünlerinin büyük bir kısmı AB'ye ihraç edilmektedir. Bu bağlamda, SKD uygulamaları Türkiye'nin ihracatını olumsuz etkileyebilir; örneğin, çimento ve demir-çelik gibi yüksek karbon salınımına sahip ürünlerde önemli maliyetler oluşabilir [55].

Türkiye'nin AB'ye ihracatında SKDM'nin yaratabileceği olumsuz etkileri önlemek için, Yeşil Mutabakat Eylem Planı'ndaki adımların bir an önce hayata geçirilmesi gerekiyor. Özellikle ulusal bir emisyon ticaret sistemi kurarak buradan elde edilecek gelirlerin düşük karbonlu üretime yönlendirilmesi hem SKDM'nin etkilerini azaltmak hem de ülkenin yeşil dönüşüm sürecini desteklemek açısından oldukça önemli. Bu yaklaşım aynı zamanda karbon fiyatlandırmasıyla oluşabilecek kaynakların AB'ye aktarılmasını engelleyerek Türkiye'nin ekonomik çıkarlarını koruma fırsatı sunuyor [56].

Sonuç olarak, Türkiye, Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKD) kapsamında gerekli hazırlıkları yapmalıdır. Özellikle de ihracat sektörlerinde karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik çok ciddi adımlar atmak zorundadır. Bu süreç, hem uluslararası piyasalardaki rekabet için hemde çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak açısından da çok önemli bir rol oynamaktadır [57].

5
UYGULAMA ÇALIŞMASI

Bu çalışmada teknik ve çevresel kısıtlara bağlı kalarak altı farklı senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan bu senaryolar HOMER Pro programında optimizasyonları yapılmıştır. Bu optimizasyon sonucunda teknik, ekonomik ve çevresel analiz sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar yatırım maliyeti, amortisman süresi, iç getiri oranları, karbondioksit (CO_2) ve diğer gaz salınımları incelenmiştir.

5.1 HOMER Programı Hakkında

HOMER, Amerikan Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilmiş bir yazılımlı destekli bir progamdır. Şebekeye bağlı veya izole hibrit enerji sistemlerinin tasarımını ve optimizasyonunu sağlamak amacıyla bir arayüz sunmaktadır. Hibrit güç sistemleri tasarlanırken dikkate alınması gereken birçok sistem konfigürasyonu bulundurmaktadır. HOMER, kullanılabilecek bileşenlerin boyutlandırılmasını gerçekleştirirken optimum sistemin seçimi için ekonomik ve teknik açıdan detaylı hesaplamalar yaparak konfigürasyonları uygunluk sırasına göre sınıflandırmaktadır. Program, girilen elektrik yük verileri ve meteorolojik bilgilerle birlikte, enerji sistem elemanlarının birim fiyatlarını değerlendirerek simülasyon, optimizasyon ve hassasiyet analizi yapma imkanı sunmaktadır [58].

5.2 Modelleme

Bu çalışmada, bir endüstriyel tesise kurulması planlanan farklı kapasitelerdeki güneş enerjisi santrallerinin tasarımı ve fizibilitesi, HOMER Pro yazılımı aracılığıyla modellenmiş ve çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir. Modelleme yapılırken tüketim verileri, lokasyon noktasına göre ışınım ve sıcaklık verileri, güneş santraline ait programda yer alan ekipmanlar kullanılmıştır. Her bir model için farklı senaryoların simülasyonları detaylı analiz edilmiştir.

Senaryolarda kullanılan fabrikanın elektrik talep değerleri için fabrikanın tüketimi ve bağlı olduğu şebekenin işletme durumu referans alınıp belirli eskalasyon işlemleri yapılarak elde edilen yeni değerler kullanılmıştır. Ayrıca bazı senaryolarda kullanılan şarj talep değerleri için ise fabrikada kullanılan ve kullanılacak taşıtların batarya kapasitesi ve şarj dolum zamanlamaları dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Fabrikanın bulunduğu bölge, HOMER Pro programında seçilmiş ve bu bölgeye ait yıllık saatlik sıcaklık ile ışınım verileri elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler, program kendi yaptığı analizlerde kullanmıştır.

Şebekeden elektrik enerjisi alış ve satış fiyatları Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından onaylanmış ve 2024 yılı temmuz ayından yeni tarifeye kadar geçerli olan fiyat tablosundan faydalanılmıştır. Fabrika orta gerilim çift terimli abone olduğu bu abone için şebekeden elektrik enerjisi alış fiyatı 334,5526 kr/kWh, şebekeye elektrik enerjisi satış fiyatı 17,0239 kr/kWh olan bu değerler hesaplamalarda kullanılmıştır [59].

Şebekeden 1 kWh elektrik enerji alınması durumunda doğaya salınan karbondioksit (CO_2) miktarı Türkiye Elektrik Üretimi ve Elektrik Tüketim Noktası Emisyon Faktörleri miktarları tablosunda yer alan dağıtım hattından bağlı tüketim noktası için birim elektrik tüketimi başına 0,479 kg CO_2-eşd. sera gazı emisyon değeri kullanılmıştır [60].

Uygulamada kullanılan faiz ve enflasyon oranı T.C. Merkez Bankasının yayınlanmış olduğu 2024 yılı ilk 8 aylık verilerinin ortalaması kullanılmıştır. Faiz oranı %50 alnmıştır [61]. Enflasyon oranı ise %65 alınmıştır [62].

Karbon Vergisi Oranı için Dünya Bankası Karbon Fiyatlandırma Fonu, 2024 yılı nisan ayında yayınlamış olduğu Tablo 4.1'de yer alan değerler kullanılmıştır. Bu tabloda bulunan fiyatların ortalaması olan 53 \$/ton/CO_2eşd değeri kullanılmıştır [50].

Konvertör seçiminde, HOMER Pro programı tarafından, güneş enerji santrallerinin kurulu gücü ve üretim koşulları dikkate alarak yaptığı optimizasyonlar sonucunda elde ettiği değer kullanılmıştır. Konvertörün verimi %95 olarak kabul edilmiştir. PV seçiminde piyasada en yaygın kullanılan panel tercih edilmiştir. Kullanılan PV'nin özelliklerine ait bilgiler Tablo 5.1'de verlmiştir [63].

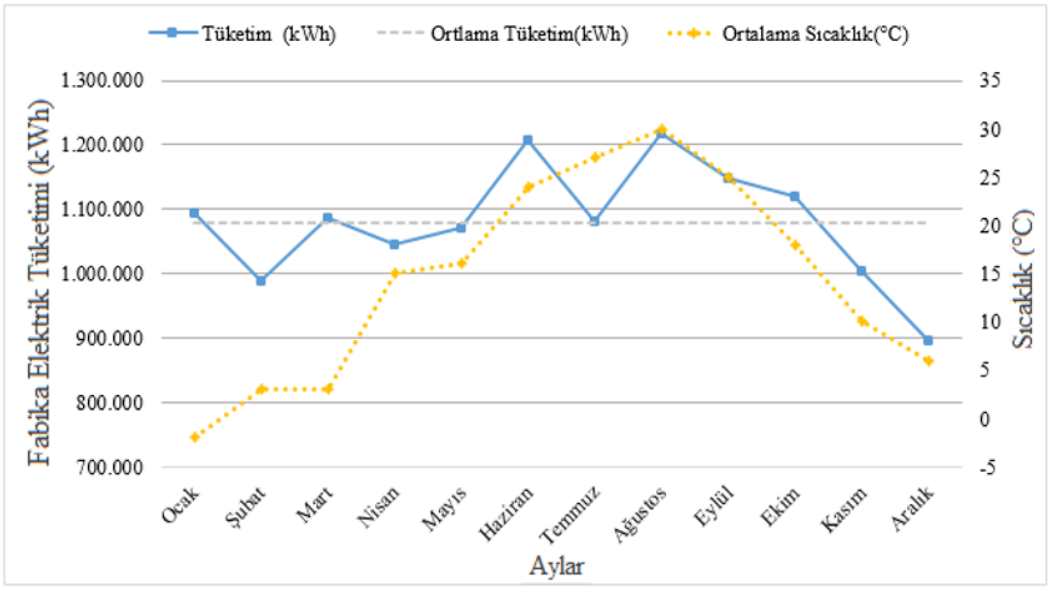
Tablo 5.1 PV teknik özellikleri

Modül Teknolojisi	PERC Monokristal
Ürün Ölçüleri	2278±2 x 1134±2 x 35±1 mm
Modül Gücü (STC)	545 W
Maksimum Güç Gerilimi (Vmp)	41,80 V
Maksimum Güç Akımı (Imp)	13,92 A
Açık Devre Gerilimi (Voc)	49,65 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	13,98 A
Modül Verimliliği (STC)	% 21.12

Programa girilen panel ve konvertör maliyetleri, 2024 yılı temmuz ayı piyasa fiyatları baz alınarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, programa diğer kurulum ekipmanlarının maliyetleri ayrı ayrı girilemediğinden kaynaklı bu maliyetler toplam birim fiyat girdisi şeklinde eklenmiş ve analizlerde ortalama maliyet değeri 370 $/kWh olarak kabul edilip kullanılmıştır. Ancak, bu değerlerin kurulum dönemi ve piyasa talep koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Kurulumun kendi mevcut arazisi üzerine yapılmasından dolayı ilave bir arazi maliyeti hesaplamalarda kullanılmamıştır.

5.2.1. Fabrikanın Yük Profili

Bu çalışma bir gıda fabrikası işletmesi için yapılmıştır. Tesisin yıllık elektrik tüketimi 13.702.944 kWh, aylık maksimum elektrik enerjisi tüketimi ağustos ayında 1.207.972 kWh, minimum elektrik talebinin ise aralık ayında 1.032.361 kWh, ortalama elektrik tüketimi ise 1.141.912 kWh'dir. Yılık ortalama sıcaklık 14.58 C° dir. Bu fabrikanın aylık elektrik enerji tüketimin miktarlarını ve aylık ortalama sıcaklık değerlerin grafiği Şekil 5.1'de verilmiştir.

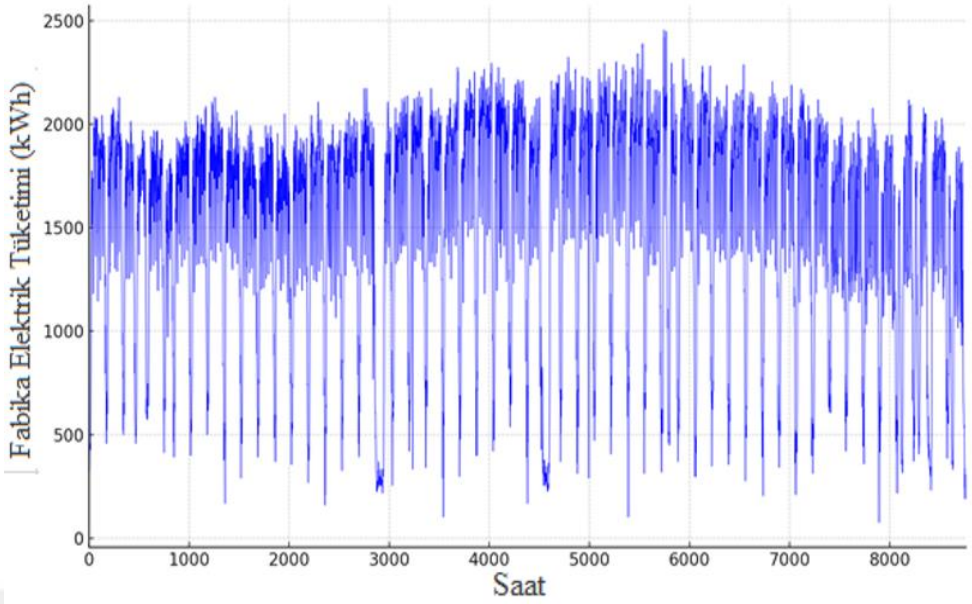


Şekil 5.1 Fabrika aylık elektrik tüketimi

Fabrika gıda üretim tesisi olduğu için ağırlıklı olarak iklimlendirme sistemleri bulunmaktadır. Elektrik enerjisi tüketimini büyük oranda bu sistemler oluşturmaktadır. Bu durumdan dolayı mevsimsel sıcaklık değişimlerinden kaynaklı elektrik enerji tüketiminde farklılıklar oluşmaktadır. Yaz ve kış aylarındaki tüketim farklılıkları Şekil 5.1'de görülmektedir. Aynı zamanda yılın son aylarına doğru fabrikadaki gıda üretim miktarına azalmadan kaynaklı elektrik enerji tüketimi yıllık ortalama tüketimin altında olmaktadır.

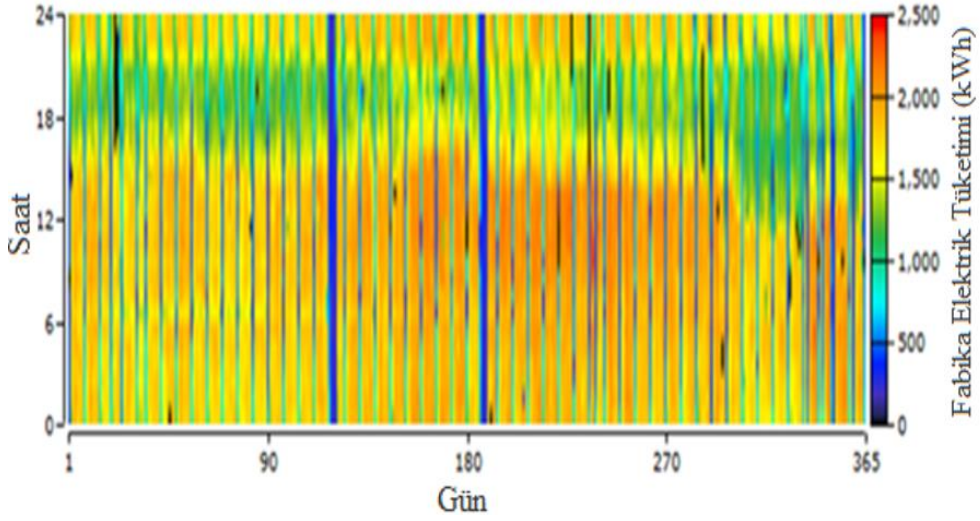
Ayrıca, fabrika haftanın cumartesi günleri ve resmi tatil günlerinde fabrikada üretim yapılmamaktadır. Bundan dolayı elektrik tüketim miktarında önemli bir miktarda azalma olmaktadır fakat fabrikanın sabit elektrik tüketimlerinin olmasından dolayı elektrik tüketimi tamamen bitmemektedir.

Fabrikanın yıllık saatlik elektrik tüketimi Şekil 5.2'de verilmiştir. Saatlik elektrik tüketimi en fazla 2.339 kWh, en düşük ise 72 kWh olmuştur. Ayrıca Şekil 5.2'de görüldüğü gibi haftalık ve resmi tatil günlerde tüketimlerde periyodik bir düşme olduğu görülmektedir.



Şekil 5.2 Fabrikanın saatlik elektrik tüketimi

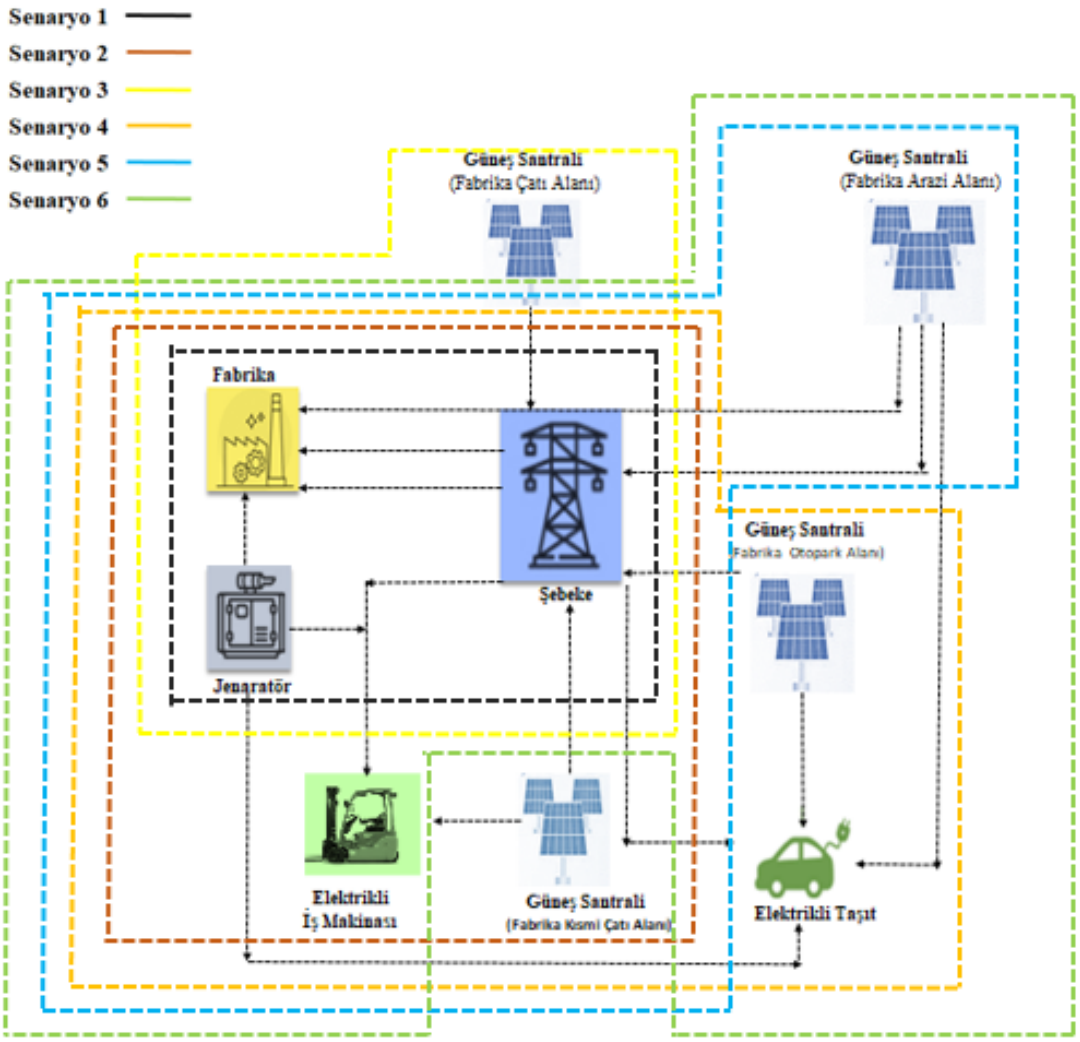
Fabrikanın yıllık saatlik elektrik enerji tüketimine ait sıcaklık grafiği Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Saatlik ortalama elektrik tüketiminin 1500-2000 kWh arasında olduğu için sarı renkte, cumartesi ve resmi tatil günleri ise bakım çalışmalarından dolayı fabrikanın saatlik elektrik tüketiminin 500 kWh altına düştüğü ve mavi renkte olduğu Şekil 5.3'te yer alan grafikte görülmektedir.



Şekil 5.3 Fabrikanın yıllık saatlik elektrik tüketiminin sıcaklık grafisi

5.3 Tasarlanan Senaryolar

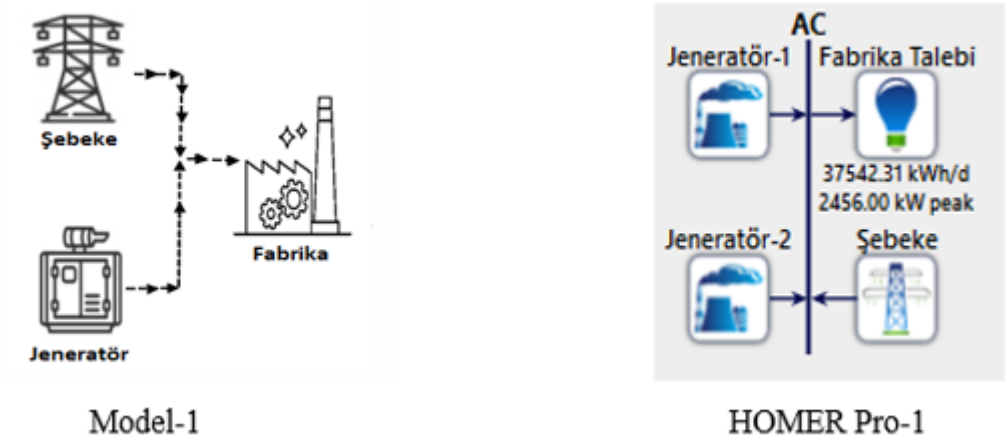
Fabrika için altı farklı senaryo modeli oluşturulmuştur. Bu modeler oluşturulurken PVsyst progamından panel yerleşimi, HOMER Pro programı aracılığıyla senaryoların ayrı ayrı analizleri için simülasyonları yapılmıştır. Simülasyon sonucunda elde edilen sonuçlar teknik, ekonomik ve çevresel açıdan değerlendirilmiştir. Tasarlanan senaryo modelerinin birlikte gösterimi Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4 Senaryo modelleri

5.3.1 Senaryo-1 ve Sonuçları

Bu senaryoda fabrikanın mevcut işletme durumu modellenmiştir. Senaryoda fabrikanın elektrik enerji talebi şebekeden, elektrik kesintisi olduğunda ise jeneratörler tarafından sağlanmaktadır. Mevcut durum modeli HOMER Pro programda oluşturulup simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonucunda teknik ve çevresel sonuçlar elde edilmiştir. Oluşturulan model ve HOMER Pro gösterimi Şekil 5.5'te verilmiştir.

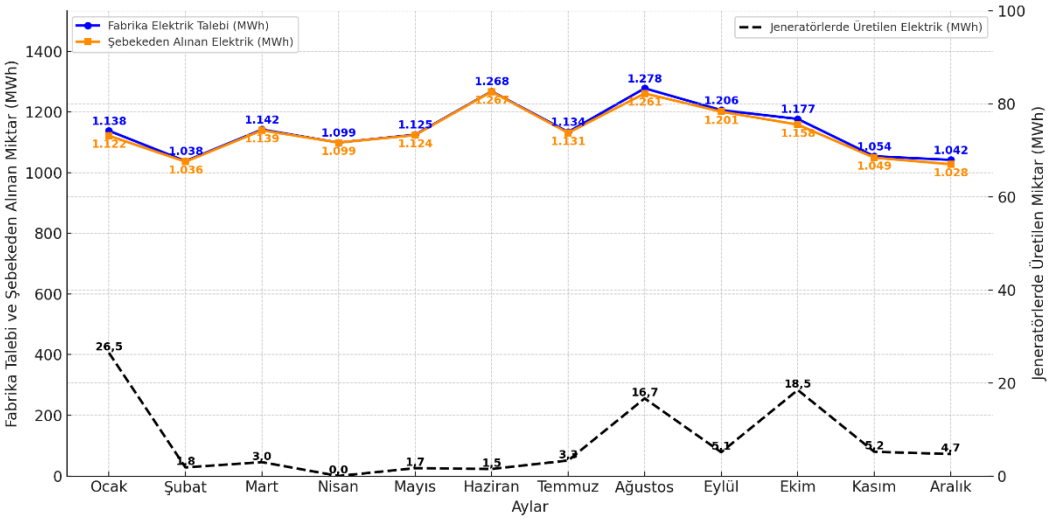


Şekil 5.5 Senaryo-1 modeli

Simülasyon sonucu elde edilen teknik sonuçlar analiz edildiğinde fabrikanın toplam elektrik enerji ihtiyacının 13.614.970 kWh (%99,40) elektrik şebekesinden, 87.974 kWh (%0,60) ise jeneratörlerden tarafından sağlamıştır. Bu değerler Tablo 5.2'de ve Şekil 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.2 Senaryo-1 için teknik sonuçlar

Talep Miktarı *(kWh/yıl)*	**Şebekeden Enerji Alımı** *(kWh/yıl)*	**Jenaratörlerde Üretilen** *(kWh/yıl)*
13.702.944	13.614.970	87.974



Şekil 5.6 Senayo-1 için elektrik talebi ve karşılanma miktarı

Fabrikanın mevcut çalışma durumunda şebekeden aldığı elektrik enerjisiden dolayı ve elektrik kesintisi olduğunda jeneratörlerin çalışmasından kaynaklı doğaya zararlı gazlar salınmaktadır. Bu salınan gazların miktarları Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3 Senaryo-1 için çevresel sonuçlar

Karbondioksit *(CO_2)* *(kg/yıl)*	**Karbonmonoksit** *(CO)* *(kg/yıl)*	**Sülfür dioksit** *(SO_2)* *(kg/yıl)*	**Azot dioksit** *(NO_2)* *(kg/yıl)*
6.582.843	1.184	155	710

5.3.2 Senaryo-2 ve Sonuçları

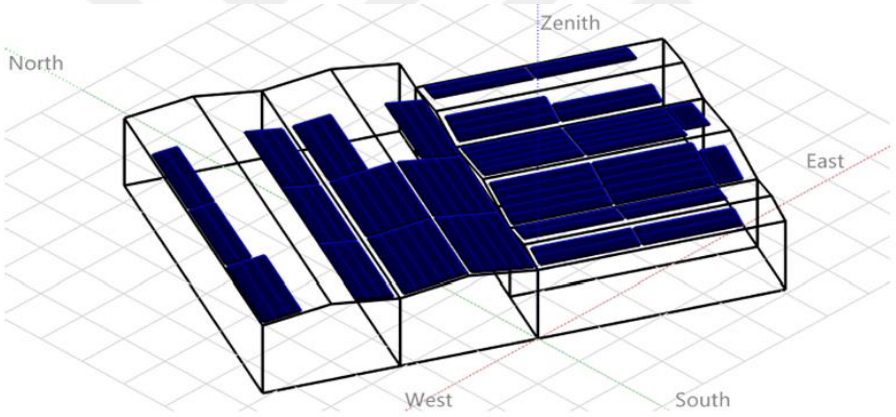
Bu senaryoda fabrikanın elektrik enerji ihtiyacının belirli bir oranının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanma durumu amaçlanmıştır. Fabrikanın çatısına güneş enerji santrali kurulumu yapılıp fabrika enerji talebinin bir kısmını bu santralden karşılanacağı model oluşturulmuştur. Güneş enerji santrali kurulumu için bazı kriterler göz önüne alınarak tasarım yapılmıştır. Bu kriterler:

- Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliğine göre sanayi tesisleri bağlantı anlaşmasındaki sözleşme gücünün iki katı kadar güçte santral kurabileceği,
- Transformatör gücü santralin kurulu gücünü karşılayabilecek kapasiteside olması gerekli,

- Santralin kurulacağı alanın m^2 alanın yeterli olmasıdır.

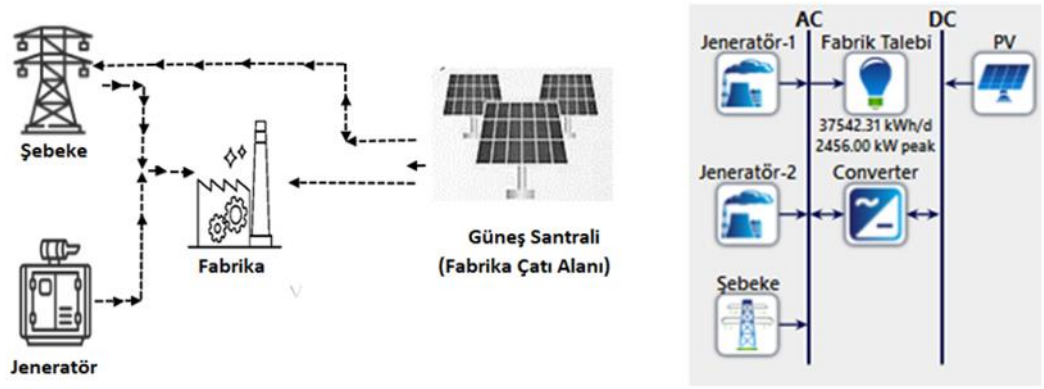
Kurulu gücü 3.160 kVA, mevcut çatı alanı 6.000 m^2 olan fabrika için yukarda bahsi geçen kriterler göz önüne alınıp bir tasarım yapılmıştır. Yapılan tasarımda kısıtlayıcı etken çatı alanı olmuştur. Aynı zamanda kurulacak santralin alanını çatı bakı yönü ve çatıdaki diğer ekipmanlardan (baca, hava santralleri v.b) dolayı kullanılabilir alanı 3500 m^2 olarak hesaplanmıştır. Bu çatı alınına teknik özellikleri Tablo 5.1'de bulunan güneş panellerinden 1.296 adet konumlandırılarak 706 kWp kurulu güce sahip bir santral tasarlanmıştır.

Fabrikanın bulunduğu enlem derecesi göz önünde bulundurularak panel eğim açısı dikkate alınarak 25° olacak şekilde konumlandırılmıştır. Güneş panellerinin çatı alanına yerleşimi PVsyst programından yapılmıştır. Fabrika çatısında bulunan bacalar, hava santralleri ve gölgelenme kısıtlarından dolayı panellerin yerleşimi Şekil 5.7'deki gösterildiği gibi yapılabilmiştir.



Şekil 5.7 Güneş panellerinin fabrika çatı alanına yerleşimi-1

Oluşturulan Senaryo-2 modelinde fabrikanın elektrik talebi öncelikli olarak güneş santralinden, talebin miktarına göre bir kısmı elektrik şebekesinden, şebeke durumuna görede jenartörlerden sağlanmıştır. Oluşturulan model ve HOMER Pro gösterimi Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Yapılan simülasyon sonucu elde edilen sonuçlar teknik, ekonomik ve çevresel analizleri değerlendirilmiştir.

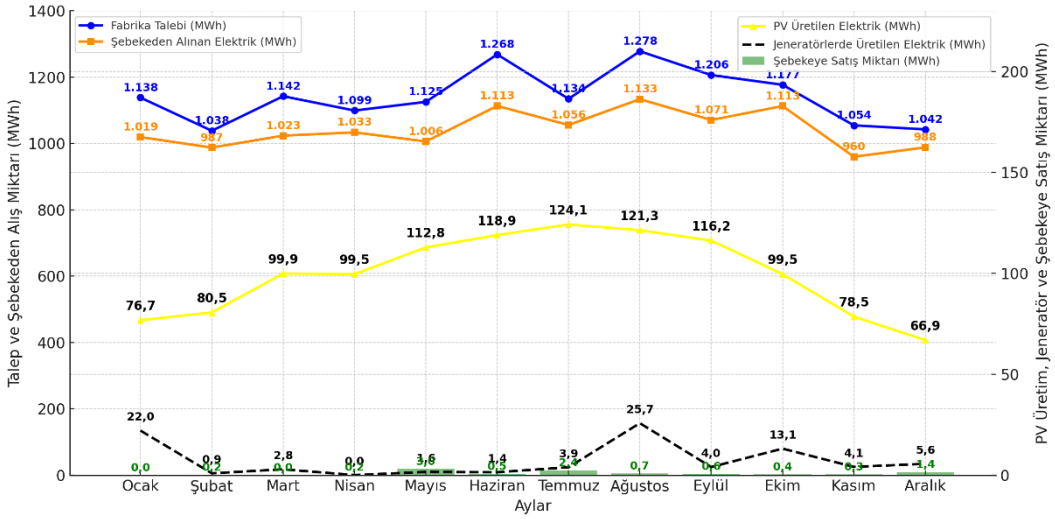


Şekil 5.8 Senaryo-2 modeli

Fabrikanın bu çalışma modeli durumunda çatı alanı kullanım kısıtından dolayı 706 kWp gücünde bir santral kurulabilmesinden dolayı güneş enerji santralinden yıllık elektrik enerji talebinin 1.194.764 kWh (%8,67) kısmını ancak karşılanabilmiştir. Yıllık elektrik enerji talebinin 12.501.307 kWh (%90,7) kısmını elektrik şebekesinden, kalan kısmını 84.958 kWh (%0,63) ise jeneratörlerden karşılanmıştır. Güneş santralinde üretilen elektrik miktarı fabrikanın elektrik enerji talebinden daha fazla olduğu zaman diliminde fazla elektrik enerjisi şebekeye verilmiştir. Yıllık toplam 9.948 kWh elektrik enerjsi şebeke verilmiştir. Fabrikanın yılık enerji talebinin karşılanma miktarları Tablo 5.4'te grafiksel gösterimi ise Şekil 5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.4 Senaryo-2 için teknik sonuçlar

Talep Miktarı *(kWh/yıl)*	**PV Kurulu Gücü** *(kWp)*	**PV Üretim Miktarı** *(kWh/yıl)*	**Şebekeden Enerji Alımı** *(kWh/yıl)*	**Şebekeye Enerji Satımı** *(kWh/yıl)*	**Jenaratörlerde Üretilen** *(kWh/yıl)*
13.702.944	706	1.194.764	12.501.307	9.948	84.958



Şekil 5.9 Senaryo-2 için elektrik talebi ve karşılanma miktarı

Bu senaryo modelinde kurulması tasarlanan güneş santralinin HOMER Pro programında yapılan simülasyon sonucu elde edilen ekonomik analiz sonuçları Tablo 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.5 Senaryo-2 için ekonomik sonuçlar-1

Yatırım Maliyeti ($)	**Yatırım Getirisi** (%)	**İç Getiri Oranı** (%)	**Basit Geri Ödeme Süresi** (yıl)	**Bileşik Geri Ödeme Süresi** (yıl)
472.120	17,7	22,3	4,36	3,49

Karbon vergisinin uygulanması durumu dikkate alınarak bu senaryo modeli için HOMER Pro programına karbon vergi girdileri yapılarak tekrar simülasyon yapılmıştır. Yapılan simülasyon sonucu elde edilen ekonomik analiz sonuçları Tablo 5.6'da gösterilmiştir.

Tablo 5.6 Senaryo-2 için ekonomik sonuçlar-2

Yatırım Maliyeti ($)	**Yatırım Getirisi** (%)	**İç Getiri Oranı** (%)	**Basit Geri Ödeme Süresi** (yıl)	**Bileşik Geri Ödeme Süresi** (yıl)
472.120	23,8	28,6	3,45	2,86

Güneş enerjisi santralinin kullanılması, fabrikanın şebekeden aldığı elektrik miktarını azaltmıştır. Bu durum, fabrikanın elektrik tüketiminden kaynaklanan karbon salınımını düşürerek ödenmesi gereken toplam karbon vergisinin azalmasını sağlayacaktır. Bu azalma, ekonomik bir kazanç olarak değerlendirilmekte ve getiri oranlarını artırarak geri ödeme (amortisman) sürelerini kısaltmaktadır.

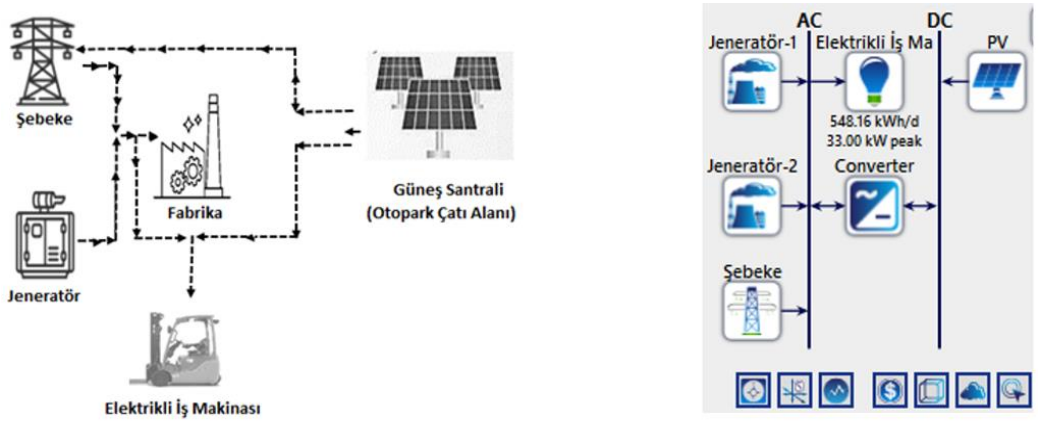
Güneş enerjisi ile desteklenen Senaryo-2 için elektrik talebinin bir kısmının güneş enerji santralinden karşılanması şebekeden elektrik alımında azalma, elektrik kesintisinde kullanılan jeneratörlerin çalışma sürelerinin kısalmasını sağlamıştır. Bu durumların sonucunda doğaya salınanan zararlı gazların miktarında azalma olmuştur. Senaryo-2 için güneş santralinin olmadığı ve güneş santralinin olduğu durumlarda doğaya salınan gaz miktarları ve azalımları Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.7 Senaryo-2 için çevresel sonuçlar

	Karbondioksit *(CO_2) (kg/yıl)*	**Karbonmonoksit** *(CO) (kg/yıl)*	**Sülfür dioksit** *(SO_2) (kg/yıl)*	**Azot dioksit** *(NO_2) (kg/yıl)*
Senaryo-2 (Güneş santralinin olmadığı durum)	6.582.843	1.184	155	710
Senaryo-2	6.047.065	1.149	151	689
Azalma Miktarı	**535.000**	**35**	**4**	**21**

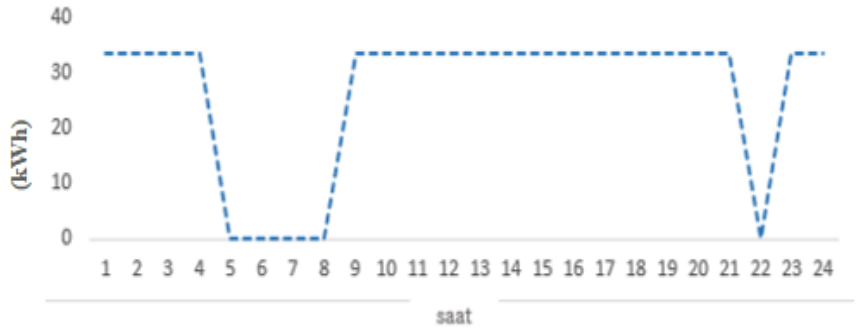
5.3.3 Senaryo-3 ve Sonuçları

Bu senaryoda fabrkada bulunan sökülebilir batarya özelliğine sahip elektrik iş makinalarının şarj istasyonun elektrik enerji ihiyacının güneş enerji santralinden sağlanabildiği bir model oluşturulmuştur. Şarj dolum işlemi yapılmadığı zaman dilimlerinde (cumartesi, resmi tatil günleri) üretilen fazla elektrik enerjisi şebekeye verilmiştir. Oluşturulan Senaryo-3 modeli Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10 Senaryo-3 modeli

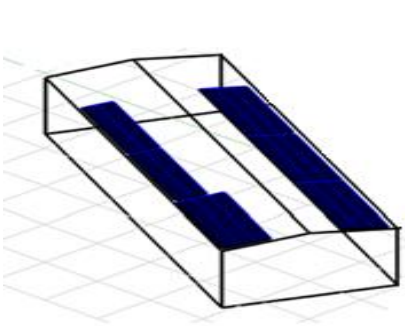
Bataryalar iki periyot şeklinde şarj edilip kullanılmaktadır. İlk periyotta bataryalar saat 08:00'de şarja takılır, 6 saat sonra saat 14.00'de birinci grup çıkarlıp ikinci batarya grubu şarja takılır 6 saatlik periyodik bir şekilde şarj dolumu yapılır. Bu makinaların çalıştığı proses 21.00'den sonra duruşa geçtiği için diğer şarj grubu 22.00'de tekrar şarj dolumuna başlar saat 04:00'e kadar dolum yapılır. 04.00 ile 08:00 saatleri arasında bu istasyonda dolum yapılmaz. Bu zaman dilimleri arasında güneş santralinde üretilen enerjisi şebekeye verilir. Fabrikada bulunan 7 adet elektrik iş makinasının batarya şarjları için talep yük durumu tam kapasite ihtiyaç olduğu varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Şarj talep profil grafiği Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11 İş makinalarının şarj talebi

Elektrikli iş makinalarının şarj talebi için gerekli olan toplam yıllık elektrik enerji miktarı 200.079 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu enerjiyi sağlamak için 120 kWp kurulu güce sahip bir santral kurulmuştur. Tablo 5.1'de teknik özellikleri yer alan

PV kullanılarak şarj istasyonu tasarlanmıştır. PVSyst programından PV yerleşimi yapılarak santral tasarımı yapılmıştır. Oluşturulan tasarım Şekil 5.12'de gösterilmiştir.

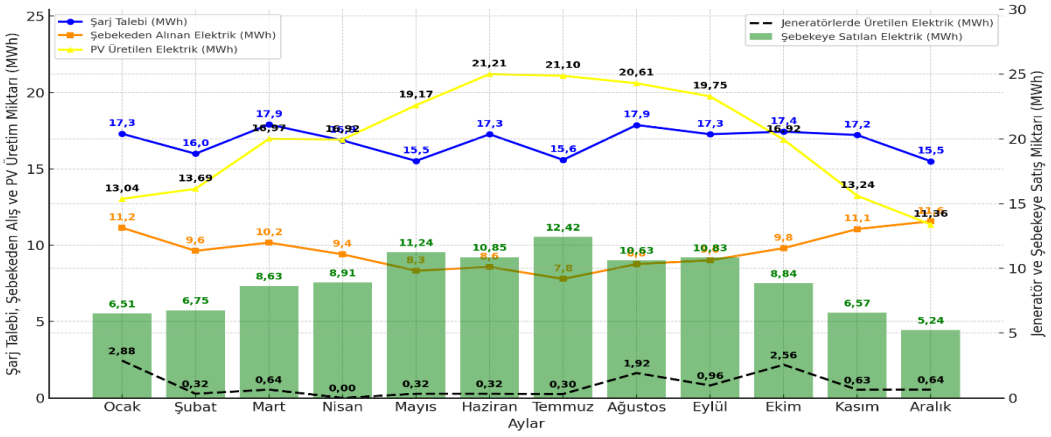


Şekil 5.12 Güneş panellerinin fabrika çatı alanına yerleşimi-2

Bu senaryo modelinin HOMER Pro programında yapılan simülasyonları sonucunda elde edilen analiz sonuçları Tablo 5.8'de ve Şekil 5.13'de verilmiştir.

Tablo 5.8 Senaryo-3 için teknik sonuçlar

Talep Miktarı *(kWh/yıl)*	**PV Kurulu Gücü** *(kWp)*	**PV Üretim Miktarı** *(kWh/yıl)*	**Şebekeden Enerji Alımı** *(kWh/yıl)*	**Şebekeye Enerji Satımı** *(kWh/yıl)*	**Jenaratörlerde Üretilen** *(kWh/yıl)*
200.079	120	203.076	115.274	107.417	11.520



Şekil 5.13 Senaryo-3 için elektrik talebi ve karşılanma miktarı

Simülasyon sonuçlardan da görüldüğü gibi elektrikli iş makinaları için yapılan güneş enerji destekli şarj istasyonunda yıllık elektrik üretim ve tüketim kıyaslaması

yapıldığında az daha olsa talepten fazla üretim yapıldığı ve bu fazla elektrik şebekeye verildiği görülmektedir. Ayrıca yaz aylarında aylık toplam talebin tamamı güneş santralinden sağlanırken kış aylarında güneş enerjisi santralinde üretim düşüklüğünden dolayı şebekeden, elektrik kesinti durumunda ise jenaratör tarafından sağlanmıştır.

Senaryo-3 modelinin uygulanması durumunda santralin HOMER Pro programı ile yapılan simülasyon sonucu elde edilen ekonomik analiz sonuçları Tablo 5.9'da verilmiştir.

Tablo 5.9 Senaryo-3 için ekonomik sonuçlar-1

Yatırım Maliyeti ($)	**Yatırım Getirisi** (%)	**İç Getiri Oranı** (%)	**Basit Geri Ödeme Süresi** (yıl)	**Bileşik Geri Ödeme Süresi** (yıl)
81.400	10,5	14,5	6,33	4,76

Karbon vergisinin uygulanması durumu dikkate alınarak Senaryo-3 için HOMER Pro programına karbon vergi girdileri yapılarak tekrar simülasyonlar yapılmıştır. Yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen ekonomik sonuçlar Tablo 5.10'da gösterilmiştir. Şarj istasyonun elektrik enerji ihiyacının güneş enerji santralinden sağlanması şebekeden alınan elektrik miktarını azaltmıştır. Bu durum, istasyonun elektrik tüketiminden kaynaklanan karbon salınımını düşürerek ödenmesi gereken toplam karbon vergisinin azalmasını sağlayacaktır. Bu azalma, ekonomik bir kazanç olarak değerlendirilmekte ve getiri oranlarını artırarak geri ödeme (amortisman) sürelerini kısaltmaktadır.

Tablo 5.10 Senaryo-3 için ekonomik sonuçlar-2

Yatırım Maliyeti ($)	**Yatırım Getirisi** (%)	**İç Getiri Oranı** (%)	**Basit Geri Ödeme Süresi** (yıl)	**Bileşik Geri Ödeme Süresi** (yıl)
81.400	13,2	17,4	5,44	4,21

Şarj istasyonunun elektrik enerjisi ihtiyacının güneş enerji santralinden karşılanması şebekeden elektrik alımında azalma, elektrik kesintisinde kullanılan

jeneratörlerin çalışma sürelerinin kısalmasını sağlamıştır. Bu durumların sonucunda doğaya salınanan zararlı gazların miktarında azalma olmuştur. Senaryo-3 için güneş santralinin olmadığı ve güneş santralinin olduğu durumlarda doğaya salınan gaz miktarları ve azalımları Tablo 5.11'de verilmiştir.

Tablo 5.11 Senaryo-3 için çevresel sonuçlar

	Karbondioksit *(CO_2)* *(kg/yıl)*	**Karbonmonoksit** *(CO)* *(kg/yıl)*	**Sülfür dioksit** *(SO_2)* *(kg/yıl)*	**Azot dioksit** *(NO_2)* *(kg/yıl)*
Mevcut Durum (Güneş santralinin olmadığı durum)	104.454	179	23,5	107
Senaryo-3	64.402	178,5	23,4	106,8
Azalma Miktarı	**40.052**	**0,5**	**0,1**	**0,2**

5.3.4 Senaryo-4 ve Sonuçları

Bu senaryoda, fabrikanın çalışanlarının elektrikli araçlarıyla işe geldikleri ve mesai saatleri boyunca araçlarını şarj edebilecekleri güneş enerjisi destekli bir şarj istasyonunun tasarım modeli oluşturulmuştur. Şarj istasyonun kullanılmadığı zaman diliminde ise şarj istasyonunda üretilen elektrik enerjisi bağlı olduğu şebekeye verilmiştir. Piyasada bulunan mevcut araçlardan yola çıkılarak tasarım yapılmıştır. Türkiye'de 2024 yılı ilk 10 ayı içersinde en çok satılan elektrikli araçlardan 10 model Tablo 5.12'de gösteriliştir [64].

Tablo 5.12 Türkiyede satılan elektrikli araç sayısı (2024)

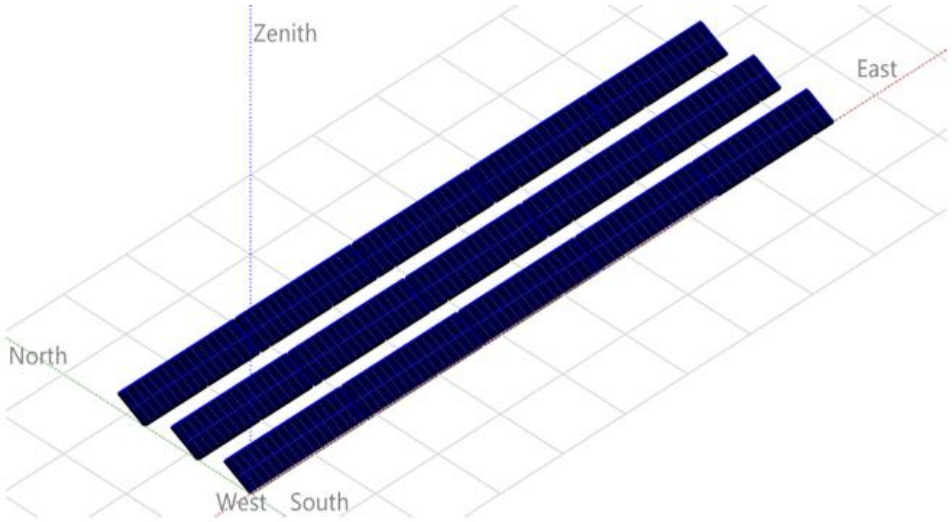
Araç İsmi	**Sayı (Adet)**
TOGG T10X	20.140
Tesla Model Y	7.367
KG Mobility Torres	3.982
BMW X1	2.906
Mercede EQB	2.446
MINI Countryman	2.221
MG4	2.010
BMW 5 serisi	1.975
Hyundai IQNIQ5	1.491
Citroen C4	1.410

Otomotiv Distribütörleri ve Mobilite Derneği'nin (ODMD) verilerine göre 2024'ün ilk 10 ayında en çok satılan elektrikli otomobil olarak en çok satılan araç modellerden TOGG T10X olmuştur. Bu modelin batarya kapasitesi Tablo 5.13'de verilmiştir [65].

Tablo 5.13 Elektrikli araç batarya kapasitesi

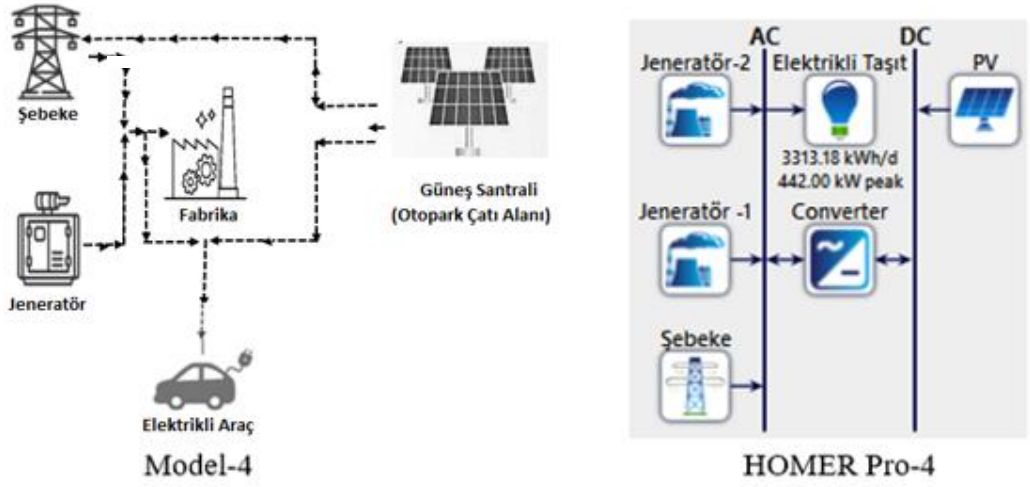
Model	**Batarya Kapasitesi** (kWh)
TOGG T10X	88,5

Yapılan kabule göre tasarlanacak güneş enerji destekli şarj istasyonuna her gün 10 adet elektrikli otomobil gelecek ve tam kapasite şarj edebilecek şeklinde bir tasarım yapılmıştır. Bunun için saatlik ortalama 885 kWh elektrik enerji sağlacak bir santral olması gerekmektedir. Fabrika otoparkı 3.820 m^2 alana sahip ve otopark alanın tümünü kapsayacak seklinde tasarım yapılmıştır. Bakı eğim durumları göz önünde bulundurularak yapılan yerleşimde 400 adet panel kullanılarak kurulu gücü 220 kWp güneş enerji destekli bir şarj istasyon tasarımı yapılabilmektedir. Bu tasarım PVsyst programı kullanılarak panel yerleşimi yapılmıştır ve panel yerleşimi Şekil 5.14'de verilmiştir.



Şekil 5.14 Otopark alanına PV yerleşimi

Oluşturulan model ve HOMER Pro gösterimi Şekil 5.15'te verilmiştir. Yapılan simülasyon sonucu elde edilen sonuçlar teknik, ekonomik ve çevresel analizleri değerlendirilmiştir.

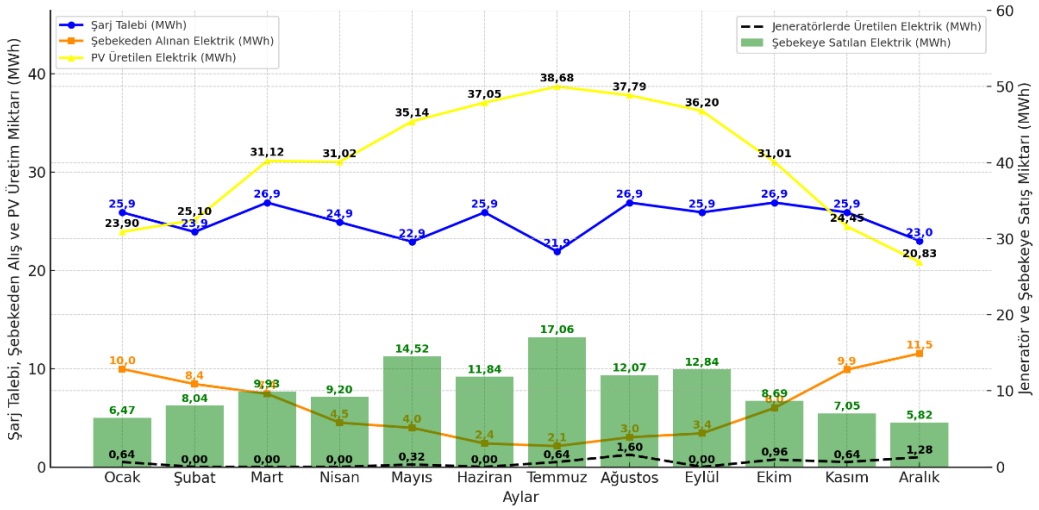


Şekil 5.15 Senaryo-4 modeli

Şarj talebi büyük oranda güneş enerjisinden sağlanmış fakat gün içerisinde üretim miktarındaki değişkenlik durumundan dolayı talebi karşılamada yetersiz olduğu zaman diliminde ise elektrik enerjisi şebeke veya jenaratölerden karşılanmıştır. Talep karşılanma durumuna ait sonuçlar Tablo 5.14'te ve Şekil 5.16'da verilmiştir.

Tablo 5.14 Senaryo-4 için teknik sonuçlar

Talep Miktarı *(kWh/yıl)*	**PV Kurulu Gücü** *(kWp)*	**PV Üretim Miktarı** *(kWh/yıl)*	**Şebekeden Enerji Alımı** *(kWh/yıl)*	**Şebekeye Enerji Satımı** *(kWh/yıl)*	**Jenaratörlerde Üretilen** *(kWh/yıl)*
300.960	220	372.306	72.663	150.230	6.080



Şekil 5.16 Senaryo-4 için elektrik talebi ve karşılanma miktarı

Bu senaryonun HOMER Pro programında yapılan simülasyonlar sonucu elde edilen ekonomik analiz sonuçları Tablo 5.15'te verilmiştir.

Tablo 5.15 Senaryo-4 için ekonomik sonuçlar-1

Yatırım Maliyeti ($)	**Yatırım Getirisi** (%)	**İç Getiri Oranı** (%)	**Basit Geri Ödeme Süresi** (yıl)	**Bileşik Geri Ödeme Süresi** (yıl)
148.000	13,2	17,4	5,44	4,21

Karbon vergisinin uygulanma durumu dikkate alınarak bu senaryo için HOMER Pro programına vergi girdileri yapılarak tekrar simülasyon yapılmıştır. Yapılan simülasyon sonucu elde edilen ekonomik analizler Tablo 5.16'da gösterilmiştir. Şarj istasyonun elektrik enerji ihiyacının güneş enerji santralinden sağlanması şebekeden alınan elektrik miktarını azaltmıştır. Bu durum, istasyonun elektrik tüketiminden kaynaklanan karbon salınımını düşürerek ödenmesi gereken toplam karbon vergisinin azalmasını sağlayacaktır. Bu azalma, ekonomik bir kazanç olarak değerlendirilmekte ve getiri oranlarını artırarak geri ödeme (amortisman) sürelerini kısaltmaktadır.

Tablo 5.16 Senaryo-4 için ekonomik sonuçlar-2

Yatırım Maliyeti ($)	**Yatırım Getirisi** (%)	**İç Getiri Oranı** (%)	**Basit Geri Ödeme Süresi** (yıl)	**Bileşik Geri Ödeme Süresi** (yıl)
148.000	17,1	21,6	4,49	3,58

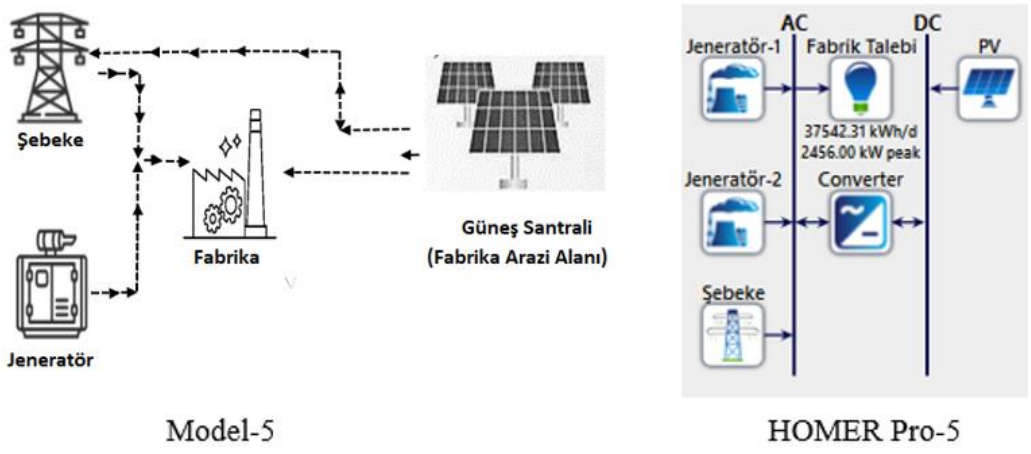
Güneş enerjisi ile destekli araç sarj istasyonun elektrik talebinin bir kısmı güneş enerjisinden karşılanmış olması şebekeden elektrik alımında azalma sağlamıştır. Bunun yanında elektrik kesintisinde kullanılan jeneratörlerin çalışma sürelerini de kısaltmıştır. Bu durumların sonucunda doğaya salınanan zararlı gazların miktarında azalma olmuştur. Doğaya salınan gaz miktarları ve azalımları Tablo 5.17'de verilmiştir.

Tablo 5.17 Senaryo-4 için çevresel sonuçlar

	Karbondioksit *(CO_2) (kg/yıl)*	**Karbonmonoksit** *(CO) (kg/yıl)*	**Sülfür dioksit** *(SO_2) (kg/yıl)*	**Azot dioksit** *(NO_2) (kg/yıl)*
Mevcut Durum (Güneş santralinin olmadığı durum)	148.007	94,5	12,40	56,70
Senaryo-4	39.699	94,4	12,35	56,66
Azalma Miktarı	**108.308**	**0,1**	**0,05**	**0,04**

5.3.5 Senaryo-5 ve Sonuçları

Bu senaryoda fabrikanın yıllık toplam elektrik enerji ihtyacının tamamının güneş enerji santralinden sağlanabildiği model oluşturulmuştur. Güneş enerji üretiminin gün içerisindeki üretim miktarındaki değişkenlik gösterme durum için şebeke ve jeneratörler sistem desteklenmiştir. Oluşturulan Senaryo-5 modeli Şekil 5.17'de verilmiştir.



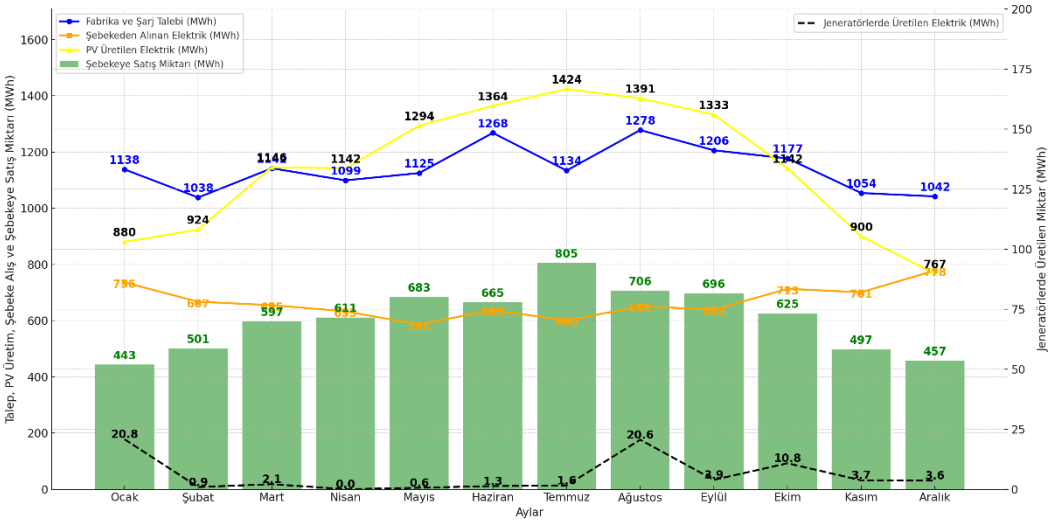
Şekil 5.17 Senaryo-5 modeli

Fabrikanın yıllık elektrik enerji ihtiyacı 13.263.990 kWh'dir. Bu talebi kaşılamak için 8.100 kWp gücünde bir güneş santrali oluşturulmuştur. Güneş santralinden yıllık 13.70.638 kWh elektrik enerjisi üretilmiş fakat enerji üretim ve talep durumu arasındaki zaman farklılığından dolayı 7.997.121 kWh elektrik enerji şebekesinden, 69.872 kWh ise jenratörlerden sağlanmıştır. Talep zamanın minimum olduğu zaman dilimlerde ise talep fazlası üretilen yıllık elektrik enerjisi 7.285.460 kWh olmuştur ve bu enerji şebekeye verilmiştir. Bu senaryo için yapılan simülasyon sonucunda elde edilen teknik analiz sonuçları Tablo 5.18'de gösterilmiştir.

Tablo 5.18 Senaryo-5 için teknik sonuçları

Talep Miktarı *(kWh/yıl)*	**PV Kurulu Gücü** *(kWp)*	**PV Üretim Miktarı** *(kWh/yıl)*	**Şebekeden Enerji Alımı** *(kWh/yıl)*	**Şebekeye Enerji Satımı** *(kWh/yıl)*	**Jenaratörlerde Üretilen** *(kWh/yıl)*
13.702.944	8.100	13.707.638	7.997.121	7.285.460	69.872

Senaryo-5 için oluşturulan model HOMER Pro progamında yapılan simülasyonu sonucunda elde edilen talep karşılanma verilerin grafiksel gösterimi Şekil 5.18'de bulunmaktadır.



Şekil 5.18 Senaryo-5 için elektrik talebi ve karşılanma miktarı

Senaryo-5 için HOMER Pro programında yapılan simülasyonunda elde edilen ekonomik analiz sonuçları Tablo 5.19'da gösterilmiştir.

Tablo 5.19 Senaryo-5 için ekonomik sonuçlar-1

Yatırım Maliyeti ($)	**Yatırım Getirisi** (%)	**İç Getiri Oranı** (%)	**Basit Geri Ödeme Süresi** (yıl)	**Bileşik Geri Ödeme Süresi** (yıl)
5.510.000	10,6	14,5	6,32	4,75

Diğer senaryolarda uygulandığı gibi karbon vergisinin uygulanma durumu dikkate alınarak Senaryo-5 için HOMER Pro programına vergi girdileri yapılarak tekrar simülasyonlar yapılmıştır. Yapılan simülasyon sonucu elde edilen ekonomik analizler Tablo 5.20'de gösterilmiştir. Senaryo-5'in uygulanması fabrikanın karbon salınımı düşürecektir. Bu durum karbon vergisinde azalma sağlayacağından dolayı ekonomik kazanç olarak değerlendirilmektedir. Bu kazanç geri ödeme sürelerinde kısalma, getiri oranlarında artış sağlamıştır.

Tablo 5.20 Senaryo-5 modeli ekonomik sonuçları-2

Yatırım Maliyeti ($)	**Yatırım Getirisi** (%)	**İç Getiri Oranı** (%)	**Basit Geri Ödeme Süresi** (yıl)	**Bileşik Geri Ödeme Süresi** (yıl)
5.510.000	13,2	17,4	5,43	4,20

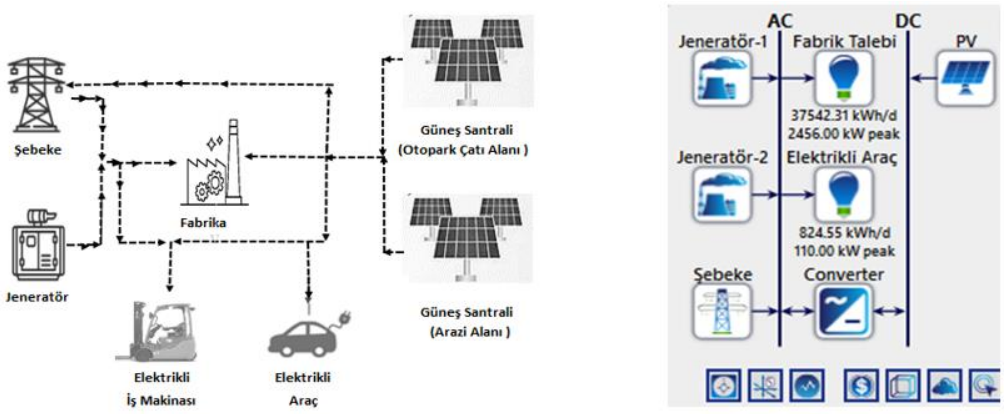
Güneş enerji santralinden fabrikanın elektrik talebinin karşılanması, şebekeden elektrik alımında azalma, elektrik kesintisinde kullanılan jeneratörlerin çalışma sürelerinin kısalma sağlamıştır. Bu durumların sonucunda doğaya salınanan zararlı gazların miktarında azalma olmuştur. Senaryo-5 için güneş santralinin olmadığı ve güneş santralinin olduğu durumlarda doğaya salınan gaz miktarları ve azalımları Tablo 5.21'de verilmiştir.

Tablo 5.21 Senaryo-5 için çevresel sonuçlar

	Karbondioksit *(CO_2) (kg/yıl)*	**Karbonmonoksit** *(CO) (kg/yıl)*	**Sülfür dioksit** *(SO_2) (kg/yıl)*	**Azot dioksit** *(NO_2) (kg/yıl)*
Mevcut Durum (Güneş santralinin olmadığı durum)	6.582.608	1.213	159	728
Senaryo-5	3.880.586	974	128	584
Azalma Miktarı	**2.702.022**	**239**	**31**	**144**

5.3.6 Senaryo-6 ve Sonuçları

Bu senaryoda diğer senaryolardaki durumların birlikte olduğu durum modellenmiştir. Fabrikanın elektrik enerji ihtiyacını, iş makinalarının ve elektrikli araçların şarj taleblerini, arazi ve otopark alanına kurulması planlanan güneş enerjisi santralinden sağlanabileceği model oluşturulmuştur. Oluşturulan model Şekil 5.19'da gösterilmiştir.

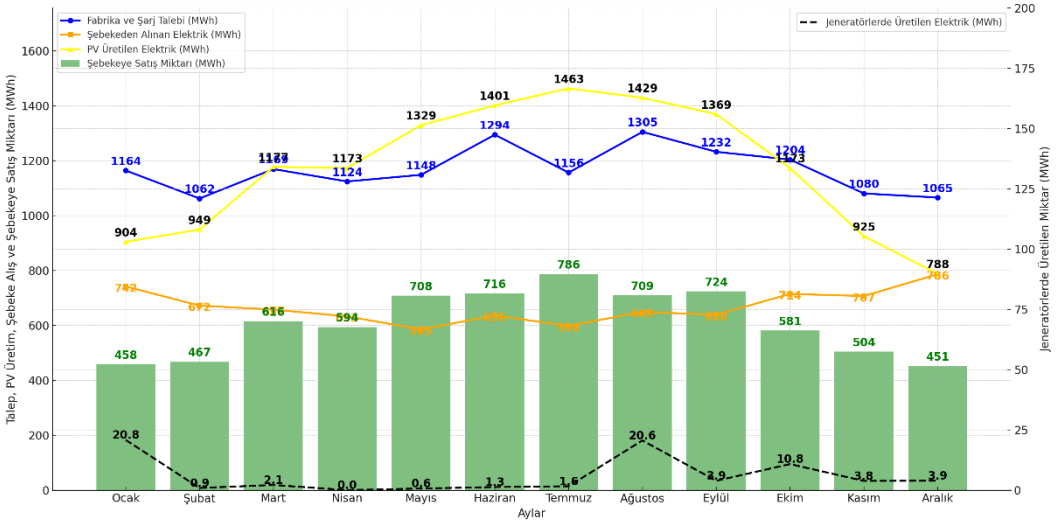


Şekil 5.19 Senaryo-6 modeli

Fabrikanın ve şarj istasyonların yıllık elektrik enerji talebi 14.079.944 kWh'dir. Bu talebi kaşılamak için 8.320 kWp gücünde bir güneş santrali tasarlanmıştır. Bu talebin güneş enerji santralinden 5.992.816 kWh, elektrik şebekesinden 8.016.963 kWh, jenaratörlerden ise 70.165 kWh sağlanmıştır. Talep zamanın minimum olduğu zaman dilimlerinde talep fazlası üretilen toplam yıllık 7.314.293 kWh elektrik enerjisi olmuştur ve şebekeye verilmiştir. Yapılan simülasyon sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 5.22'de ve Şekil 5.20'de verilmiştir.

Tablo 5.22 Senaryo-6 için teknik sonuçlar

Talep Miktarı *(kWh/yıl)*	**PV Kurulu Gücü** *(kWp)*	**PV Üretim Miktarı** *(kWh/yıl)*	**Şebekeden Enerji Alımı** *(kWh/yıl)*	**Şebekeye Enerji Satımı** *(kWh/yıl)*	**Jenaratörlerde Üretilen** *(kWh/yıl)*
14.003.904	8.320	14.079.944	8.016.963	7.314.293	70.165



Şekil 5.20 Senaryo-6 için elektrik talebi ve karşılanma miktarı

Senaryo-6'nın uyglanma durumu için HOMER Pro programı ile yapılan simülasyon sonucu elde edilen ekonomik analiz sonuçları Tablo 5.23'te gösterilmiştir.

Tablo 5.23 Senaryo-6 için ekonomik sonuçlar-1

Yatırım Maliyeti ($)	**Yatırım Getirisi** (%)	**İç Getiri Oranı** (%)	**Basit Geri Ödeme Süresi** (yıl)	**Bileşik Geri Ödeme Süresi** (yıl)
5.560.000	11	15	6,16	4,65

Diğer senaryolarda uygulandığı gibi karbon vergisinin bu senaryoda da uygulanma durumu dikkate alınarak Senaryo-6 için HOMER Pro programına vergi girdileri yapılarak tekrar simülasyonlar yapılmıştır. Yapılan simülasyon sonucu elde edilen ekonomik analizler Tablo 5.24'te gösterilmiştir.

Tablo 5.24 Senaryo-6 için ekonomik sonuçlar-2

Yatırım Maliyeti ($)	**Yatırım Getirisi** (%)	**İç Getiri Oranı** (%)	**Basit Geri Ödeme Süresi** (yıl)	**Bileşik Geri Ödeme Süresi** (yıl)
5.560.000	13,8	18	5,28	4,11

Elektrik talebinin büyük oranda güneş enerjisinden karşılanmış olması şebekeden elektrik alımında azalma sağlamıştır. Aynı zamanda elektrik kesintisi olduğunda elektrik talebinin bir kısmının jenaratörler yerine güneş enerjisinden sağlanmış olması jeneratörlerin çalışma sürelerini azaltmıştır. Bu durumlardan dolayı doğaya salınan zararlı gaz miktarında düşüş olmuştur. Senaryo-6 için güneş santralinin olmadığı ve güneş santralinin olduğu durumlarda doğaya salınan gaz miktarları ve azalımlar Tablo 5.25'te verilmiştir.

Tablo 5.25 Senaryo-6 için çevresel sonuçlar

	Karbondioksit *(CO2)* *(kg/yıl)*	**Karbonmonoksit** *(CO)* *(kg/yıl)*	**Sülfür dioksit** *(SO2)* *(kg/yıl)*	**Azot dioksit** *(NO2)* *(kg/yıl)*
Mevcut Durum (Güneş santralinin olmadığı durum)	6.727.015	1.237	162	742
Senaryo-6	3.890.265	977	128	586
Azalma Miktarı	**2.834.750**	**260**	**34**	**156**

5.4 Senaryo Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışma bir endüstri tesis için talep ve boyutlandırma kriterleri gözönüne alınarak farklı güçte güneş enerji santral uygulamalarının teknik, ekonomik ve çevresel optimizasyonu incelenmiştir. Ekonomik analizler karbon vergisinin uygulanmadığı ekonomik analiz sonuçları-1, karbon vergisi uygulandığı ekonomik analiz sonuçları-2 şeklinde detaylandırılarak analiz edilmiştir. Optimizasyon sonuçları senaryo modelleri kendi içlerinde kıyaslanarak değerlendirilmiştir.

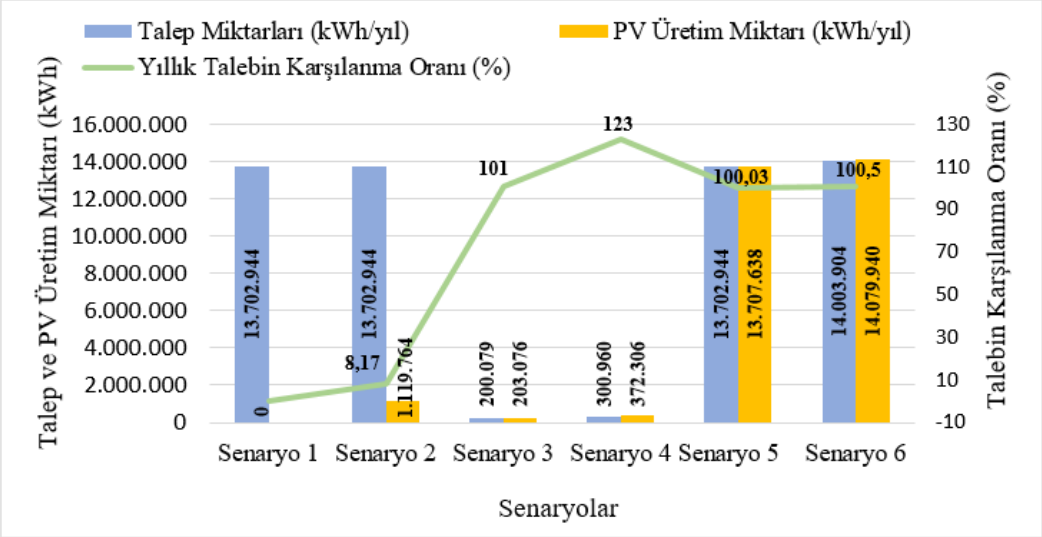
5.4.1. Senaryoların Teknik Sonuçları

Her bir senaryo modeline ait teknik sonuçlar Tablo 5.26'da verlmiştir. Bu kapsamda, senaryolarda talep miktarları, güneş enerjisi santralinde üretilen elektrik miktarları ve talep edilen enerjinin güneş enerjisi santralleriyle karşılanma oranları detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.26 Senaryoların teknik sonuçları

Teknik Sonuçlar	Senaryo1	**Senaryo2**	Senaryo3	**Senaryo4**	Senaryo5	Senaryo6
Talep Miktarı *(kWh/yıl)*	13.702.944	**13.702.944**	200.079	**300.960**	13.702.944	**14.003.904**
PV Kurulu Gücü *(kWp)*	-	**706**	120	**220**	8.100	**8.320**
PV Üretim Miktarı *(kWh/yıl)*	-	**1.119.764**	203.076	**372.306**	13.707.638	**14.079.940**
Şebekeden Enerji Alımı *(kWh/yıl)*	13.614.970	**12.501.307**	115.274	**72.633**	7.997.121	**8.016.963**
Şebekeye Enerji Satımı *(kWh/yıl)*	-	**9.948**	107.417	**123.518**	7.285.460	**7.314.293**
Jenaratörlerde Üretilen *(kWh/yıl)*	87.974	**84.958**	11.520	**6.080**	69.872	**70.165**
Yıllık Talebin Karşılanma Oranı *(%)*	-	**8,17**	101	**123**	100,03	100,50

Her bir senaryoya ait talep miktarları ile bu taleplerin güneş enerji santralinde üretilen elektrik enerjisiyle karşılanma oranlarının kıyaslanmasına yönelik grafiksel gösterim Şekil 5.21'de verilmiştir.



Şekil 5.21 Talep miktarları ve karşılanma oranları

Senaryo-1 ve Senaryo-2 dışındaki diğer senaryolarda, yıllık güneş enerjisinden üretilen elektrik miktarı talep edilen elektrik miktarından fazla gerçekleşmiştir. En yüksek talep karşılama oranına ise Senaryo-4'te ulaşılmıştır. Bu durumun nedeni Senaryo-4'te otopark alanının tamamını kapsayan bir tasarım yapılmış olmasından aynı zamanda bu durum oransal olarak en yüksek değerin elde edilmesini sağlamıştır.

5.4.2 Senaryoların Ekonomik Sonuçları-1

Tasarlanan her bir senaryo için HOMER Pro programı kullanılarak gerçekleştirilen simülasyonlarsonucunda ekonomik veriler elde edilmiştir. Elde edilen ekonomik veriler ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiştir. Analiz sonucunda yatırım maliyetleri, getiri oranları ve amortisman süreleri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeye ilişkin ekonomik sonuçlar Tablo 5.27'de gösterilmiştir.

Tablo 5.27 Senaryolara ait ekonomik sonuçlar-1

Ekonomik Sonuçlar-1	Senaryo1	**Senaryo2**	Senaryo3	**Senaryo4**	Senaryo5	**Senaryo6**
Yatırım Maliyeti *($)*	-	**472.120**	81.400	**148.000**	5.510.000	**5.560.000**
Yatırım Getirisi *(ROI) (%)*	-	**17,7**	10,5	**13,2**	10,6	**11**
İç getiri oranı *(IRR) (%)*	-	**22,3**	14,5	**17,4**	14,5	**15**
Basit Geri Ödeme Süresi *(SP)(yıl)*	-	**4,36**	6,33	**5,44**	6,32	**6,16**
Birleşik Geri Ödeme Süresi *(SP) (yıl)*	-	**3,49**	4,76	**4,21**	4,75	**4,65**

Yatırım maliyeti: projelerin ölçeği, kapasitesi ve teknolojik altyapısının belirlenmesinde kritik bir faktördür. Yüksek yatırım maliyetlerine sahip projeler genellikle daha büyük enerji üretim kapasiteleri ile karakterize edilirken, düşük maliyetli projeler daha sınırlı üretim hedeflerine odaklanmaktadır.

Yatırım Getirisi (RIO): Bir yatırımın karlılığını ve sermayenin etkin kullanımını değerlendiren bir performans göstergesidir. Yüksek ROI değerleri, yatırımın finansal açıdan çekici olduğunu ve sağlanan getirilerin sermayeyi hızlı bir şekilde aşacağını ortaya koymaktadır. Temel olarak bir yatırımdan elde edilen getiriyi ya da ne kadar kar elde edildiğini ölçmek için yararlanılan bir ölçüttür. ROI, yatırım yapılan sermayenin ne kadarının geri kazanıldığını veya kazanç sağlandığını gösterir ve genellikle yüzde olarak ifade edilir [66].

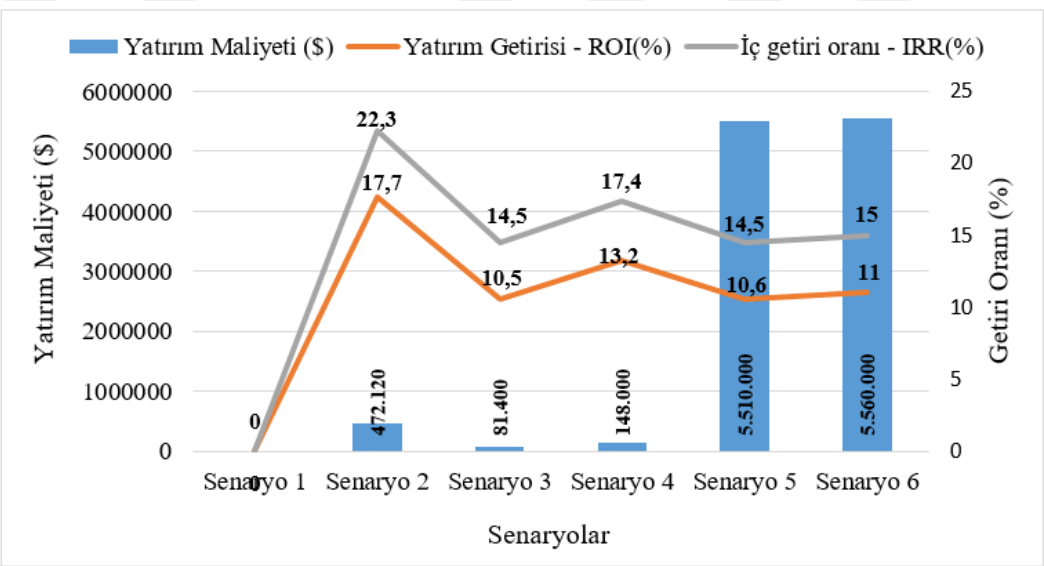
İç Getiri Oranı (IRR): Bir yatırımın gelecekteki nakit akışlarının bugünkü değerini sıfıra eşitleyen iskonto oranıdır. İç getiri oranı yöntemine göre yapılan proje değerlendirmelerinde herhangi bir projenin gelecekte sağlayacağı dönemsel net nakit akışlarının bugünkü değerlerinin toplamını, projenin yatırım tutarının bugünkü değerine eşitleyen iskonto oranı aranır. Yani, yatırımın kârlılığını ölçmek

için kullanılan bir orandır. Formüllerde IRR kısaltmaları kullanılmaktadır ve yüzdesel sonuçlar çıkar [67].

Basit Geri Ödeme Süresi: Bir yatırımın başlangıç maliyetinin ne kadar sürede geri elde edileceğini belirleyen bir ölçüttür. Bu gösterge, genellikle yatırımın likidite seviyesini ve sermaye riski düzeyini değerlendirmek amacıyla kullanılır.

Bileşik Geri Ödeme Süresi: Basit geri ödeme süresine kıyasla faiz ve enfalasyon oranını da gözönüne alarak değerlendirme yapılır. Zaman değeri dikkate alır. Bu, özellikle büyük ölçekli projelerin maliyet analizlerinde sık kullanılır [68].

Yapılan ekonomik analizlerden elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 5.22'de verilmiştir.



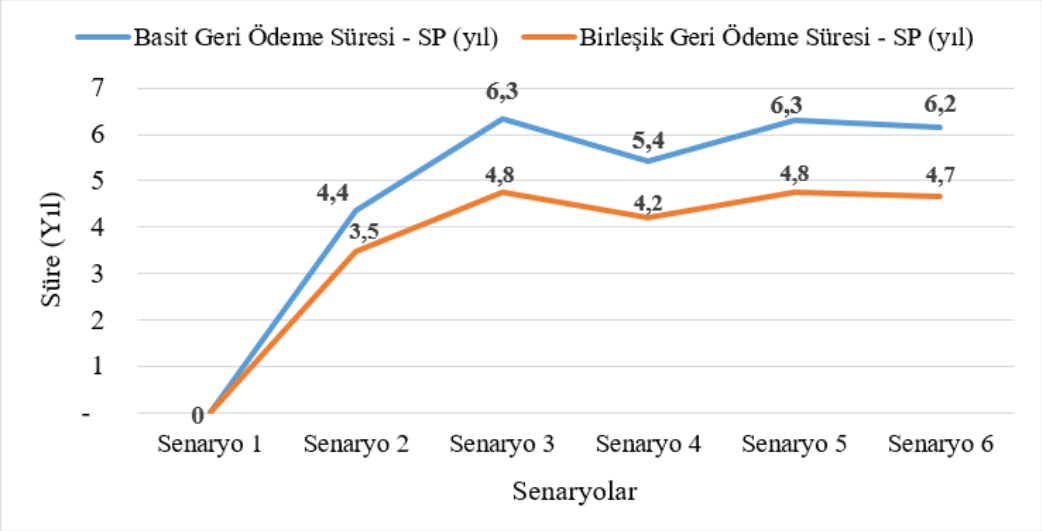
Şekil 5.22 Senaryoların yatırım ve getiri oranların karşılaştırılması-1

Her bir senaryonun yatırım maliyetleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde Senaryo-2 ve Senaryo-3'ün en düşük maliyetli yatırımlar olduğu görülmektedir. Bu senaryolar, özellikle küçük ölçekli yatırımcılar için uygun fırsatlar sunarak daha düşük sermaye ile yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimine başlanmasını sağlamaktadır. Bu durum, temiz enerjiye geçişte düşük riskli bir yatırım seçeneği oluşturmaktadır. Öte yandan, yüksek maliyetli Senaryo-5 ve Senaryo-6 ise büyük ölçekli yatırımları gerektirmektedir. Genellikle daha geniş kapsamlı projeler için tasarlanan bu senaryolar, yüksek kapasite hedefleriyle öne çıkmakta; ancak, yüksek sermaye ihtiyacı sebebiyle uzun vadeli ve detaylı bir finansal planlama gerektirmektedir.

Senaryo-2 ve Senaryo-4, yüksek yatırım getirisi oranlarına (ROI) sahiptir. Özellikle Senaryo-2, kısa vadeli ve karlı bir yatırım fırsatı sunarak yatırımcılar için uygun bir seçenek olmaktadır. Senaryo-3 ve Senaryo-6, talep şebekeye satış miktarının üretim payı içindeki oranın fazla olması nedeniyle daha düşük ROI oranlarına sahiptir. Bu durum, söz konusu senaryoların yatırımcılar açısından daha sınırlı getiri potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ancak, bu senaryolar daha uzun vadeli getirileri amaçlayan yatırımcılar için uygun bir seçenek olabilir.

Senaryo-2, en yüksek iç kârlılık oranına (IRR) sahiptir ve bu durum senaryonun en avantajlı seçeneklerden biri olduğunu göstemektedir. Yüksek IRR değeri, bu yatırımın nakit akışlarının hızla artı bir yönde gerçekleşebileceğini göstermektedir. Bunun aksine Senaryo-3 ve Senaryo-6, daha düşük IRR değerlerine sahiptir. Bu durum, söz konusu senaryoların yatırımcılar açısından sermaye maliyetine yakın bir getiri sunduğunu ve bundan dolayı çok daha sınırlı bir karlılık sağlamaktadır.

Elde edilen ekonomik sonuçlara göre yatırımların amortisman sürelerin basit ve bileşik ödeme süresine göre karşılaştırılması Şekil 5.23'de verilmiştir.



Şekil 5.23 Senaryoların amortisman sürelerinin karşılaştırılması-1

Yapılan analizler sonucunda, en kısa geri ödeme süresinin Senaryo-2'ye ait olduğu saptanmıştır. Bu durum, söz konusu yatırımın maliyetlerini hızlı bir şekilde karşılayarak kendini amorti edebileceğine göstermektedir. Öte yandan en uzun geri

ödeme süresi Senaryo-6'da gözlemlenmiştir. Bu yatırımcılar açısından sermayenin daha uzun süre risk altında kalması anlamına gelmektedir.

Senaryolar arasındaki geri ödeme süresi farklılıklarının temel sebeblerinden biri ise şebekeden enerji alım ve satış fiyatları arasındaki farktan kaynakladığı kabul edilebilir. Bileşik geri ödeme süreleri açısından bakıldığında ise en hızlı sermaye geri dönüş süresinin sahip olan Senaryo-2'nin en kısa bileşik geri ödeme süresine de sahip olduğu elde edilmiştir. Buna karşın, Senaryo-6, daha uzun bir bileşik geri ödeme süresinden dolayı sermaye geri dönüş oranının görece düşük olduğunu görülmüştür.

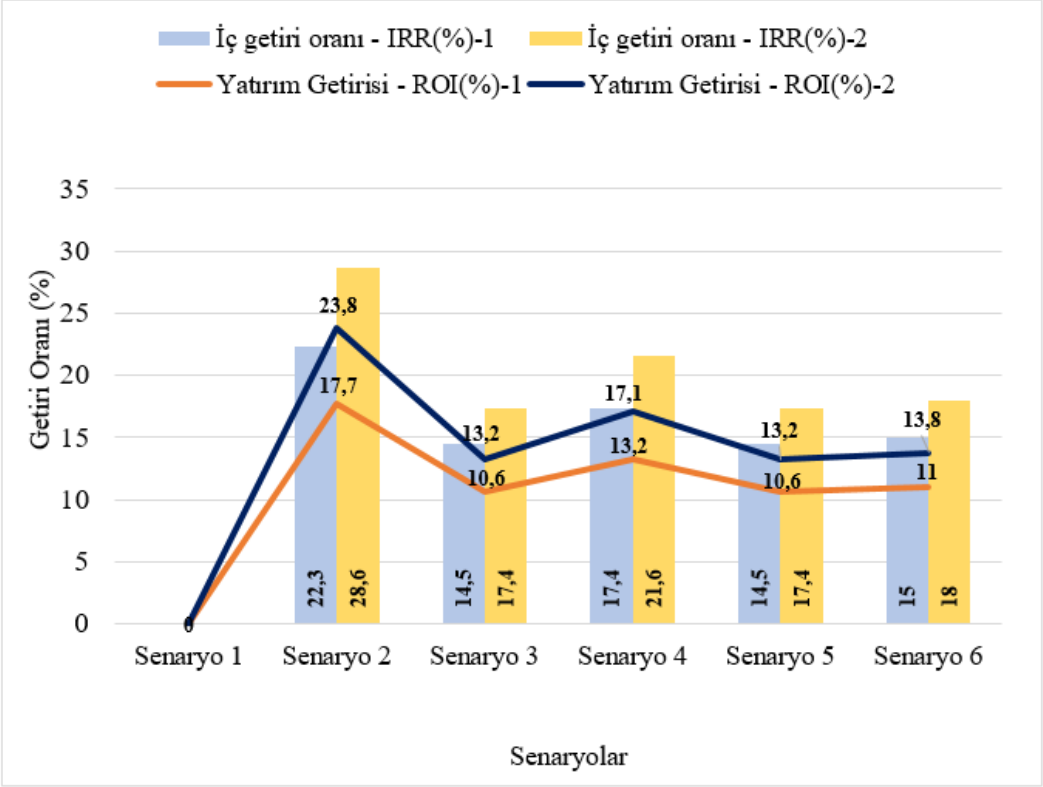
5.4.3 Senaryoların Ekonomik Sonuçları-2

Sıfır karbon emisyonu hedefleri çerçevesinde sıkça gündeme gelen ve bazı ülkelerde uygulanmaya başlanan bazı ülkelerde ise uygulama aşamasında olan karbon vergisinin, önerilen hibrit güç sistemi modeline ekonomik etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda, doğaya salınan karbonun ortalama ton başına düşen vergi değeri alınarak herbir senaryonun HOMER Po programındaki ekonomik veri kısmına vergi girdileri yapılıp tekrar sonuçlar analiz edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde elde edilen bulgular, Tablo 5.28'de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

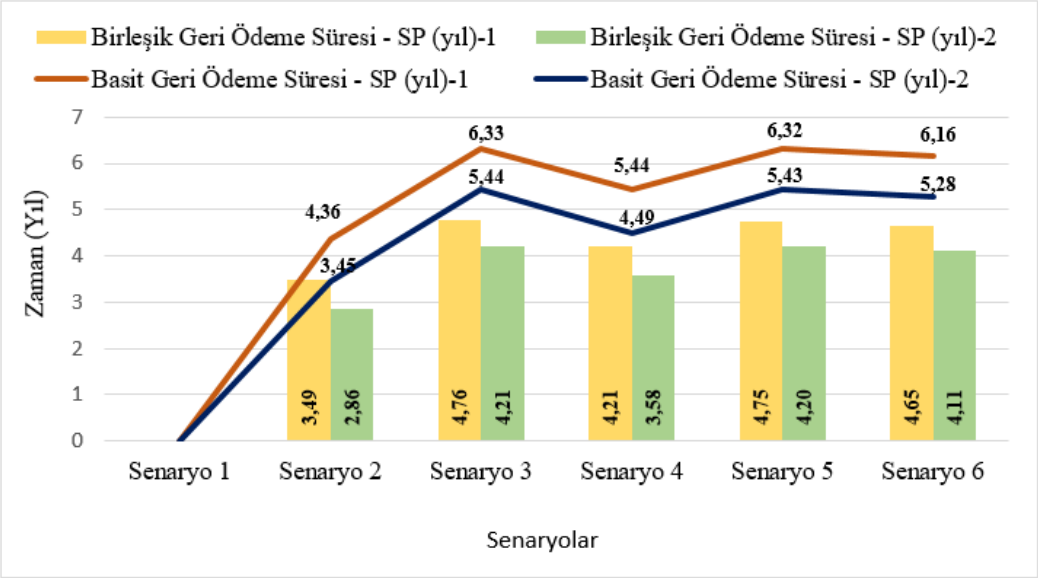
Tablo 5.28 Senaryolara ait ekonomik sonuçlar-2

Ekonomik Sonuçlar-2	Senaryo1	**Senaryo2**	Senaryo3	**Senaryo4**	Senaryo5	**Senaryo6**
Yatırım Maliyeti *($)*	-	**472.120**	81.400	**148.000**	5.510.000	**5.560.000**
Yatırım Getirisi *(ROI) (%)*	-	**23,8**	13,2	**17,1**	13,2	**13,8**
İç getiri oranı *(IRR) (%)*	-	**28,6**	17,4	**21,6**	17,4	**18**
Basit Geri Ödeme Süresi *(SP) (yıl)*	-	**3,45**	5,44	**4,49**	5,43	**5,28**
Birleşik Geri Ödeme Süresi *(SP) (yıl)*	-	**2,86**	4,21	**3,58**	4,20	**4,11**

Karbon vergisinin uygulanması durumunda, güneş santrallerinden elektrik üretilmesi karbon salınımını azalma sağlycaktır. Bundan dolayı ödenecek toplam karbon vergisinde bir azalma olacaktır. Bu azalım bir ekonomik getiri olarak değerlendirilmektedir. Bu durum, getiri oranlarında artışa ve amortisman sürelerinde kısalmayı sağlayacaktır. Elde edilen ekonomik sonuçlar, mevcut durumdaki ekonomik verilerle karşılaştırılmış ve sonuçlar Şekil 5.24'te detaylı olarak sunulmuştur. Amortisman sürelerinin karşılaştırılmasına ilişkin bulgular ise Şekil 5.25'de gösterilmiştir.



Şekil 5.24 Senaryoların getiri oranlarının karşılaştırılması-2



Şekil 5.25 Senaryo modellerin amortisman sürelerinin karşılaştırılması-2

5.4.4 Senaryoların Çevresel Sonuçları

Oluşturulan her bir senaryo için HOMER Pro programında yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen çevresel sonuç verilerine göre doğaya salınan gazlar ve bu gazlardaki azalma miktarları Tablo 5.29'da ve Şekil 5.26'da detaylı olarak sunulmuştur. Bu tabloda yer alan gazlara ait bilgiler detaylandırılmıştır.

Karbondiksit (CO_2): Birçok canlı ve cansız faaaliyette karbon içeren maddelerin yanması sonucu ortaya çıkan bir gazdır. Atmosferdeki oranı düşük olmasına rağmen, küresel ısınma üzerinde en büyük etkiye sahip sera gazlarından biridir [69].

Karbonmonoksit (CO): Karbon içeren bileşiklerin özelliklede fosil yakıtların tam yanmaması durumunda ortaya çıkmaktadır. Sera etkisine katkıda bulunan zehirli bir gaz olduğum için atmosferde yüksek miktarda bulunması ciddi bir tehlike oluşturur [69].

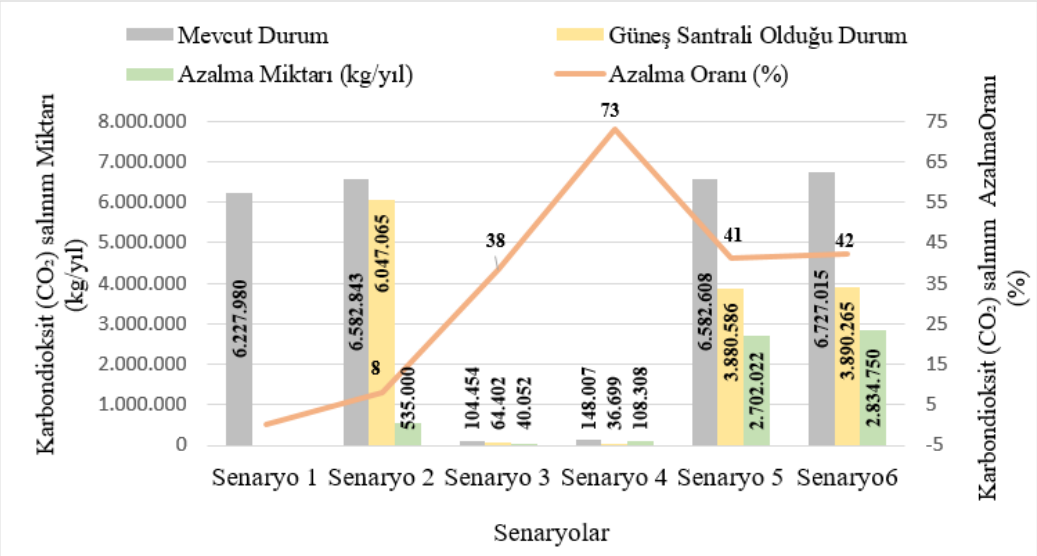
Sülfür dioksit (SO_2): Doğal ve yapay ortamda meydana gelen çeşitli kimyasal olaylar sonucu ortaya çıkan bir gazdır. Kükürtdioksit olarakta adlandırılır. İnsan sağlığı için ciddi bir tehlike oluşturan bir gazdır.

Azot dioksit (NO_2): Sanayi tesislerinin emisyonları, volkanik faaliyetler, orman yangınları gibi birçok sürecin sonucu atmosfere verilen bir gazdır. Çevrede ciddi zararlar yaratır ve asit yağmurlarının oluşumuna yol açarak ağaçların, balıkların ve

diğer canlıların ölümüne sebep olur. Bu etkiler, hem ekosistem hem de insan sağlığı üzerinde olumsuz sonuçlar doğurur [70].

Tablo 5.29 Senaryolara ait çevresel sonuçlar

Çevresel Sonuçlar	Senaryo1	**Senaryo2**	Senaryo3	**Senaryo4**	Senaryo5	**Senaryo6**
Karbondioksit *(CO_2)*						
(kg/yıl)	6.227.980	**6.047.065**	64.402	**36.699**	3.880.586	**3.890.265**
Azalım	-	**535.000**	**40.052**	**108.308**	**2.702.022**	**2.834.750**
Karbonmonoksit *(CO) (kg/yıl)*	1.184	**1.149**	179	**94,5**	974	**977**
Azalım	-	**35**	**0,5**	**0,1**	**239**	**260**
Sülfür dioksit *(SO_2)*						
(kg/yıl)	155	**151**	23,5	**12,4**	128	**128**
Azalım	-	**4**	**0,1**	**0,05**	**31**	**34**
Azot dioksit *(NO_2) (kg/yıl)*	710	**689**	107	**56**	584	**586**
Azalım	-	**21**	**0,2**	**0,04**	**144**	**156**



Şekil 5.26 Karbondioksit (CO_2) salınım miktarı

Karbondioksit (CO_2) salınımları açısından yapılan değerlendirmede miktar olarak en fazla salınımın Senaryo-6 modelinde gerçekleştiği saptanmıştır. Buna karşın, talebin karşılanma oranının en yüksek olduğu Senaryo-4 modelinde ise

karbondioksit (CO_2) salınımında en yüksek azalma oranı gözlemlenmiştir. Talep miktarları aynı olmakla birlikte, taleplerin güneş enerjisinden karşılanma oranlarının farklı olduğu Senaryo-1, Senaryo-2 ve Senaryo-5 arasında yapılan karşılaştırmada Senaryo-2 ve Senaryo-5'in CO_2 salınımı, Senaryo-1'e göre sırasıyla %8 ve %41 oranında daha olduğu hesaplanmıştır.

Senaryo-5'te yıllık elektrik üretim miktarı toplam yıllık talebi karşılamasına rağmen, fabrikanın elektrik talebi ile güneş santralinin zaman içerisindeki üretim miktarındaki farklılık nedeniyle fabrika, gün içerisinde şebekeden ve jeneratörden elektrik enerjisi alımı yapma zorunluluğunda olmuştur. Bu durum, "karbon sıfır" hedefinin tam anlamıyla sağlanamamasına neden olmuştur.

Elektrik kesintisi olduğu zaman periyodunda, enerji talebi öncelikli olarak güneş enerji santrallerinden sağlanmış jenaratörler ile desteklenmiştir. Talebin bir kısmının güneş enerjisinden karşılanmış olması sayesinde jeneratörlerde üretilen elektrik miktarında bir azalmasını sağlamıştır. Bu durum, jeneratör çalışması sonucu doğaya salınan karbonmonoksit (CO), sülfür dioksit (SO_2) ve azot dioksit (NO_2) gazlarının salınım miktarlarında da azalmasını doğrudan etkilemiştir.

Güneş santralinin üretim kapasitesinin en yüksek olduğu Senaryo-6 modelinde, elektrik kesintisi sırasında enerji talebinin büyük bir kısmını güneş santralinden karşılandığı için doğaya salınınan gaz miktarlarındaki azalma miktarı ve oranı olarak en yüksek düzeye sahiptir.

Senaryo-3 ve Senaryo-4 modellerinde ise talep miktarının düşük olması ve jeneratör kullanımından kaynaklanan elektrik üretiminin sınırlı olması nedeniyle salınım miktarındaki değişim en az düzeyde gerçekleşmiştir. Ayrıca güneş santralinin talep yükünü karşılama oranının yüksek olması, elektrik kesintisi sırasında talebin büyük oranda güneş enerjisiyle karşılanmasını sağlamıştır.

6
SONUÇ

Bu çalışmada, bir endüstri tesisinin elektrik enerji gereksinimini karşılamak amacıyla planlanan güneş enerjisi santralinin talep durumuna göre optimal tasarımı analiz edilmiştir. Altı farklı senaryo modeli tasarlanmıştır. Tasarlanan bu senaryoların, endüstri tesisinin faaliyet durumu, yük profili, santral kurulum alanı sınırları göz önünde bulundurularak analizler yapılmıştır. Bu analizler teknik, ekonomik ve çevresel açıdan ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Değerledirmelerde talep karşılama oranı, yatırım maliyeti, getiri oranları, amortisman süreleri ve çevreye salınan gazlar açısından değerledirilip önerilerde bulunulmuştur.

Senaryoların yıllık elektrik talebini güneş enerjisinden karşılama oranları değerlendirildiğinde, talep miktarını fazlasıyla karşılayabilecek kapasiteye sahip olan Senaryo-4'ün en yüksek oranı sağladığı görülmüştür. İkinci sırada Senaryo-5 yer almaktadır. Öte yandan, Senaryo-2'de güneş panellerinin yalnızca çatı alanına kurulmuş olması nedeniyle talebin yalnızca %8,17'si karşılanabilmiş ve talep karşılama oranı en düşük senaryo haline getirmiştir. Eğer amaç talep miktarını yenilenebilir enerji kaynaklarından en yüksek oranda karşılamak ise, en uygun seçenek olarak Senaryo-4 değerlendirilmiştir.

Yatırım maliyetleri açısından yapılan değerlendirmede, en düşük yatırım maliyetine sahip senaryonun Senaryo-3, en yüksek yatırım maliyetine sahip senaryonun ise Senaryo-6 olduğu hesaplanmıştır. Yatırım maliyetlerindeki miktarlar doğrudan santral kurulu gücüne bağlı olduğunda dolayı Senaryo-6'nın en yüksek maliyete sahip olduğu sonucu görülmüştür. Ancak senaryolar amortisman süresi ve yatırım getiri oranları açısından değerlendirildiğinde, en ideal yatırımın Senaryo-2 olduğu sonucuna varılmştır. Bu senaryoda amortisman süresinin 4,36 yıl olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca, yıllık faiz ve enflasyon oranları dikkate alındığında, bu sürenin 3,49 yıla kadar düştüğü hesaplanmıştır.

Amortisman süresi en uzun olan senaryo ise Senaryo-6'dır. Bu senaryoda amortisman süresi 6,16 yıl olarak hesaplanmıştır. Yıllık faiz ve enflasyon oranları dahil edilip tekrar hesaplam yapıldığında bu süre 4,65 yıla kadar düşmüştür. Genel olarak yatırım maliyetleri açısından değerlendirildiğinde, en ekonomik modelin Senaryo-3 olduğu sonucuna çıkarılmıştır.

Sınırda karbon vergisinin uygulanmaya başlanması durumunda, senaryoların ekonomik analizleri yeniden yapılmıştır. Karbon salınımı azaltma, uygulanması planlanan karbon vergisinde emisyon azaltma miktarı kadar bir azalma sağlayacaktır. Bu azalma bir ekonomik getiri olarak değerlendirilmektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak tekrar değerlendirme yapıldığında en kısa amortisman süresine sahip olan Senaryo-2'nin amortisman süresinin 3,45 yıla kadar düştüğü, yıllık faiz ve enflasyon oranları hesaba katılarak tekrar hesaplama yapıldığında bu sürenin 2,86 yıla kadar olduğu görülmüştür. Ayrıca, faiz ve enflasyon oranlarının dönemsel değişkenlik gösterebilmesi nedeniyle amortisman sürelerinin, yatırımın yapılacağı döneme göre farklılık gösterebilmektedir. Faiz oranlarının enflasyon oranından yüksek ya da düşük olması ise basit ve bileşik geri ödeme süreleri arasında kayda değer farklar oluşturabilmektedir.

Çevresel açıdan değerlendirildiğinde güneş santrali kurulu gücü en fazla olan Senaryo-6'da doğaya salınan karbondioksit (CO_2) miktarında (2.834.750 (kg/yıl)) en fazla azalma olduğu görülmüştür. Güneş santralinin olmadığı durum ile kıyaslandığında %42 oranında bir azalma sağlandığı saptanmıştır. Bu sebepten dolayı Senaryo-6 tercih edilmesi çevresel açıdan en iyi yaklaşımdır. Fakat çevreye salınan karbondioksit (CO_2) miktarında oransal olarak en fazla azalma %73 oran ile Senaryo-4 olmuştur. Ayrıca jeneratör çalışmasından dolayı doğaya salınan karbonmonoksit (CO), sülfür dioksit (SO_2), azot dioksit (NO_2) gazlarında miktar ve oransal olarak en fazla azalma Senaryo-6'da olduğu gözlemlenmiştir.

Bu değerlendirmeler sonucunda senaryoların tercih edilip uygulaması yapılacağı zaman dikkate alınacak kriterlerin net bir şekilde belirlenmesi ve bu kriterlere uygun tercihler yapılmasının gerekliliği ortaya konulmuştur. Ayrıca karbon vergisi dikkate alınarak duyarlılık analizleri değerlendirildiğinde karbon vergisi uygulanmaya geçildiğinde uygulanacak vergi üzerinden bir kazanç sağlayabilecektir. Bu durum işletmeler için bir getiri olarak değerlendirileceğinden proje amortisman sürelerini kısalttığı getiri oranlarını artırdığı görülmüştür.

Özellikle yüksek elektrik enerji tüketimine sahip işletmelerin güneş enerjisi bazlı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimlerini hızlandıracağı öngörülmektedir. Sonuçlar, güneş enerjisi sistemlerinin bir endüstri tesisine teknik, ekonomik ve çevresel açıdan önemli katkılar sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

[1] S. Bana and R. P. Saini, "Identification of unknown parameters of a single diode photovoltaic model using particle swarm optimization with binary constraints," Renewable Energy, vol. 101, pp. 1299-1310, 2017.

[2] S. E. Rüşen and M. S. Çevik, "Bir gıda fabrikasında enerji verimliliğinin iyileştirilmesi," Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, vol. 24, no. 3, pp. 539-552, 2020.

[3] R. K. Pachauri, M. R. Allen, V. R. Barros, J. Broome, W. Cramer, R. Christ, ... and J. P. van Ypserle, Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2014, p. 151.

[4] Ö. Ahmet, M. Ü. Şaşmaz, and E. Bahtiyar, "Türkiye'de yeşil ekonomi açısından yenilenebilir bir enerji kaynağı: Rüzgar enerjisi," Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, no. 1, pp. 85-93, 2015.

[5] M. R. Arabshahi, H. Torkaman, and A. Keyhani, "A method for hybrid extraction of single-diode model parameters of photovoltaics," Renewable Energy, vol. 158, pp. 236-252, 2020.

[6] B. Davarcıoğlu and A. Lelik, "Sanayide iklim değişikliğine uyum ve eko-verimlilik (temiz üretim) programı: örnek uygulamalar," Mesleki Bilimler Dergisi (MBD), vol. 6, no. 2, pp. 94-105, 2017.

[7] Z. Baş, S. Zıba, and A. S. Yılmaz, "Fotovoltaik üretim sistemlerinin şebekeye ve maliyetlere etkisinin incelenmesi," Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, vol. 20, no. 3, pp. 72-78, 2017.

[8] S. Akkaya, "Samsun, Bayburt ve Mersin illerine kurulabilecek güneş enerjisi santrallerinin modellenmesi," Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019.

[9] H. Wang, Z. Wang, and X. Fu, "Economic analysis of 4MW distributed photovoltaic power generation project based on PVsyst software simulation," in E3S Web of Conferences, vol. 118, p. 02072, 2019, EDP Sciences.

[10] S. G. Halime, " Yenilenebilir enerjili hibrit enerji santrallerinin modellenmesi ve analizi," Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2019

[11] A. Tabak, "Analysis and design of a hybrid energy production system to meet the energy demand of a plant in Konya," International Journal of Engineering Research and Development, vol. 13, no. 1, pp. 220-230, 2021.

[12] G. Yılmaz, M. Şahin, Ö. Akyazı, and B. Öztürk, "Şebeke bağlantılı hibrit yenilenebilir enerji sisteminin Homer ile ekonomik ve çevresel analizi: İzmir

endüstriyel bölgesi örneği," Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, vol. 13, no. 3, pp. 1090-1106, 2023.

[13] I. Padrón, D. Avila, G. N. Marichal, and J. A. Rodríguez, "Assessment of hybrid renewable energy systems to supply energy to autonomous desalination systems in two islands of the Canary Archipelago," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 101, pp. 221-230, 2019.

[14] S. E. Rüşen and M. Koç, "Enerji tüketim ve CO2 salınım değerlerinin analizi; bir gıda fabrikası örneği," Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, vol. 8, no. 4, pp. 1478-1488, 2019.

[15] C. Emeksiz and M. M. Fındık, "Sürdürülebilir kalkınma için yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye ölçeğinde değerlendirilmesi," Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, no. 26, pp. 155-164, 2021.

[16] K. Kaya, M. C. Şenel, and E. Koç, "Dünyada ve Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi," Technological Applied Sciences, vol. 13, no. 3, pp. 219-234, 2018.

[17] İ. Yıldız, " Fossil Fuels," ScienceDirect, vol. 1, no. 1, pp. 521-567, 2018. doi:10.1016/B978-0-12-809597-3.00111-5

[18] "Bilgi Merkezi, Enerji," T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji. [Erişim: 24 Eylül 2024].

[19] " Bilgi Merkezi,Enerji,Petrol " T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-petrol. [Erişim: 24 Eylül 2024].

[20] "Bilgi Merkezi,Enerji,Doğalgaz " T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-dogalgaz. [Erişim: 24 Eylül 2024].

[21] "WORLD ENERGY COUNCIL, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://www.worldenergy.org. [Erişim: 30 Eylül 2024].

[22] N. Altanneh, "Güneş pili ve hidrojen yakıt pilinden beslenen küçük bir elektrikli araç için batarya şarj sistemi tasarımı ve gerçekleştirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2012.

[23] M. L. Arslan, "Yenilenebilir enerji sistemlerinin simülasyonu ve optimizasyonu," Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İnönü Üniversitesi, Malatya, 2008.

[24] "Bilgi Merkezi, Enerji, Hidrolik " T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-hidrolik. [Erişim: 1 Ekim 2024].

[25] Ş. Gizlenci, M. Acar, and M. Şahin, "Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının (biyodizel, biyoetanol ve biyokütle) projeksiyonu," Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, vol. 8, no. 3, pp. 337-344, 2012.

[26] E. Koç and K. Kaya, "Enerji kaynakları–yenilenebilir enerji durumu," Mühendis ve Makina, vol. 56, no. 668, pp. 36-47, 2015.

[27] E. Dursun, "Şebekeden bağımsız rüzgâr, güneş ve hidrojen kaynaklı hibrit enerji sisteminin analizi," Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2013.

[28] "Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Güneş " T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes. [Erişim: 10 Ekim 2024].

[29] "SunatPV''[Çevrimiçi].Mevcut:https://www.sunartpv.com/bilgi-bankasi/gunes-enerjisi-nerelerde-kullanilir. [Erişim: 10 Ekim 2024].

[30] S. G. M. W. M. C. R. Wenham, Applied Photovoltaics ARC Centre for Advanced Silicon Photovoltaics and Photonics, cilt Second Edition, U.K. and U.S.: Earthscan, 2007

[31] B. Parida, S. Iniyan, and R. Goic, "A review of solar photovoltaic technologies," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, no. 3, pp. 1625-1636, 2011.

[32] M. K. Basher, M. Nur-E-Alam, M. M. Rahman, K. Alameh, and S. Hinckley, "Aesthetically appealing building integrated photovoltaic systems for net-zero energy buildings: Current status, challenges, and future developments—A review," Buildings, vol. 13, no. 4, p. 863, 2023.

[33] Ö. Atalay, B. Yorgun, and R. Erdem, "Fotovoltaik (PV) güneş enerjisi sistemleri ve çatı uygulamaları," in 8. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 2018.

[34] C. A. Vigneshwari, S. S. S. Velan, M. Venkateshwaran, M. A. Mydeen, and V. Kirubakaran, "Performance and economic study of on-grid and off-grid solar photovoltaic system," in 2016 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), pp. 239-244, Apr. 2016.

[35] " İklim Değişikliğiyle Mücadelenin Önemi " T.C. Dışişleri Bakanlığı, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://www.mfa.gov.tr/iklim-degisikligiyle-mucadelenin-onemi.tr.mfa. [Erişim: 3 Ekim 2024].

[36] " Viyana Sözleşmesi ve Montreal Protokolü " T.C. Dışişleri Bakanlığı, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://www.mfa.gov.tr/viyana-sozlesmesi-ve-montreal-protokolu.tr.mfa. [Erişim: 3 Ekim 2024].

[37] " Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi " T.C. Dışişleri Bakanlığı, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://www.mfa.gov.tr/bm-iklim-degisikligi-cerceve-sozlesmesi.tr.mfa. [Erişim: 4 Ekim 2024].

[38] "Kyoto Potokolü" T.C. Dışişleri Bakanlığı, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa. [Erişim: 5 Ekim 2024].

[39] "Paris Anlaşması" T.C. Dışişleri Bakanlığı,[Çevrimiçi]. Mevcut:https://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa. [Erişim: 5 Ekim 2024].

[40] "Karbon Vergisi Nedir?"CASEM GRUP. [Çevrimiçi]. Mevcut:https://www.casem.com.tr/karbon-vergisi-nedir?. [Erişim: 7 Ekim 2024].

[41] I. F. Orkunoğlu Şahin ve T. E. Çiftçi, “İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ İLE MÜCADELEDE TÜRKİYE İÇİN KARBON VERGİSİ ÖNERİSİ”, SBAD, c. 16, sy. 2, ss. 254–269, 2021, doi: 10.48145/gopsbad.1005072.

[42] N. Döbbeling-Hildebrandt, K. Miersch, T. M. Khanna, M. Bachelet, S. B. Bruns, M. Callaghan, ... and J. C. Minx, "Systematic review and meta-analysis of ex-post evaluations on the effectiveness of carbon pricing," Nature Communications, vol. 15, no. 1, p. 4147, 2024.

[43] E. Karakaya, G. Akkoyun, and B. Hiçyılmaz, "Sera gazı emisyonu azaltımı için karbonun fiyatlanması: Karbon vergisi mi emisyon ticareti mi?," Ekonomi Politika ve Finans Araştırmaları Dergisi, vol. 8, no. 4, pp. 813-841, 2023.

[44] H. Özdemir and M. Köse, "Karbon vergisi, emisyon ticaret sistemi ve sınırda karbon düzenlemesi: Türkiye açısından değerlendirmeler," Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, vol. 25, no. 3, pp. 518-541, 2024.

[45] Ö. Küçük, "Karbon vergisinin Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye’deki uygulamasının değerlendirilmesi," Yüksek Lisans Tezi, Finans Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Eskişehir, 2012.

[46] S. Proost and D. Van Regemorter, "Economic effects of a carbon tax: with a general equilibrium illustration for Belgium," Energy Economics, vol. 14, no. 2, pp. 136-149, 1992.

[47] D. Murrell, Eight Arguments Against a Carbon Tax, Canadian Centre for Policy Studies, 2008.

[48] N. Döbbeling-Hildebrandt, K. Miersch, T. M. Khanna, M. Bachelet, S. B. Bruns, M. Callaghan, ... and J. C. Minx, "Systematic review and meta-analysis of ex-post evaluations on the effectiveness of carbon pricing," Nature Communications, vol. 15, no. 1, p. 4147, 2024.

[49] C. P. Dashboard, "State and Trends of Carbon Pricing,2024"Mevcut: https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2024/05/21/global-carbon-pricing-revenues-top-a-record-100-billion [Çevrimiçi]. [Erişildi: 10 Eylül 2024].

[50] Alex Mengden, "Carbon Taxes in Europe, 2024",[Çevrimiçi].Mevcut: https://taxfoundation.org/data/all/eu/carbon-taxes-europe-2024. [Erişim: 13 Ekim 2024].

[51] G. K. Yerlikaya, "Karbon vergisi," Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, vol. VII, no. 1-2, pp. 685-700, 2003.

[52] M. E. Mirici and S. Berberoğlu, "Türkiye perspektifinde yeşil mutabakat ve karbon ayak izi: Tehdit mi? Fırsat mı?," Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, vol. 8, no. 1, pp. 156-164, 2022.

[53] W. Przychodzen, "Political factors in renewable energy generation: Do populism, carbon tax and feed-in tariffs matter?," Energy Research & Social Science, vol. 115, p. 103628, 2024.

[54] "Delivering the European Green Deal, 2023." [Çevrimiçi].Mevcut: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-

2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en. [Erişim: 11 Ekim 2024].

[55] "Yeni İklim Rejimine Doğru:Avrupa Yeşil Mutabakati ve türkiye'ye Etkileri Üzerine BirİnceleMe."[Çevrimiçi].Mevcut:https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1640160571_stmyeniiklimrejiminedogru.pdf. [Erişim: 13 Ekim 2024].

[56] A. A. Eken, "Sınırda karbon düzenlemesi mekanizmasının Türkiye'nin AB ihracatına olası etkileri," Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi, vol. 8, no. 1, pp. 1-15, 2024.

[57] E. E. Alpay and M. K. Gökmen, "Sınırda karbon düzenleme (SKD) mekanizması çerçevesinde karbon salınımı açıklamalarının incelenmesi," Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, vol. 16, no. 4, pp. 970-986, 2023.

[58] "HomerEnergy,"[Çevrimiçi].Available:https://homerenergy.com/products/pro/index.html. [Erişildi: 15 Ekim 2024].

[59] " Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları " T.C. Enerji Piyasa Düzenleme Kurumu, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari. [Erişim: 2 Eylül 2024].

[60] "Çevre ve İklim, Emisyon Faktörü " T.C. Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri. [Erişim: 6 Eylül 2024].

[61] "Faiz Oranları" T.C.Merkez Bankası, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://enerji.gov.tr/evced-cevre-ve-iklim-elektrik-uretim-tuketim-emisyon-faktorleri. [Erişim: 4 Aralık 2024].

[62] "Enflasyon Oranları" T.C. Merkez Bankası, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Enflasyon+Verileri/Tuketici+Fiyatlari. [Erişim: 4 Aralık 2024].

[63] "ZES Güneş Enerji Panelleri" [Çevrimiçi]. Mevcut: https://zes.net/Uploads/Page/550-hc182-ti-modeli_100624_2.pdf. [Erişim: 4 Eylül 2024].

[64] F. TÜRKİYE, "2024'ün ilk 10 ayında en çok satan elektrikli otomobilleri", [Çevrimiçi]. Available: https://www.forbes.com.tr/makale/2024-un-ilk-10-ayinda-en-cok-satan-elektrikli-otomobiller. [Erişildi: 3 Kasım 2024].

[65] "T10XKatalog,"[Çevrimiçi].Available:https://trumorecdn.togg.cloud/ToggT10XKatalog.pdf. [Erişildi: 3 Aralık 2024].

[66] M. Uygur, "Yatırım projesi değerlendirme yöntemleri," Demiryolu Mühendisliği, no. 2, pp. 56-59, 2015.

[67] T. Gedik, K. C. Akyüz, and İ. Akyüz, "Yatırım projelerinin hazırlanması ve değerlendirilmesi (iç karlılık oranı ve net bugünkü değer yöntemlerinin incelenmesi)," Bartın Orman Fakültesi Dergisi, vol. 7, no. 7, pp. 51-61, 2005.

[68] S. Kanat, " Yatırım Projelerin Değerlendirilmesi ve Bir Uygulama " Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1995.

[69] G. Akın, "Küresel ısınma, nedenleri ve sonuçları," Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, vol. 46, no. 2, pp. 29-43, 2006.

[70] F. Özdemir, "Türkiye genelinde kükürt dioksit ve partiküler madde kirlilik dağılımlarının analizi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Ünivesitesi, 2008.

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. H. Canpolat, R. Ayaz, A. Demirci, ‘’Bir Endüstri Tesisinde Kullanılan Elektrikli İş Makinaları için Güneş Enerji Santrali Fizibilitesi’’ 4th International Graduate Studies Congress (IGSCONG’24), İstanbul, Türkiye, 5 - 8 Haziran 2024

2. H. Canpolat, R. Ayaz, A. Demirci, ‘’Endüstriyel tesislerde güneş enerjisi santrallerinin kurulumu ve etkinliğinin analizi: teknik, ekonomik ve çevresel perspektifler’’ 13th International Congress On Engineering, Architecture And Design, İstanbul, Türkiye, 8 - 9 Haziran 2024, ss.301-307