
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

# ELEKTRİK ÜRETİM SANTRALLERİNİN GEÇMİŞ, MEVCUT VE GELECEK YÖNETMELİKLERE GÖRE MALİYET VE AMORTİSMAN SÜRELERİNİN BELİRLENMESİ

**Mustafa Safa KALAY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**
**ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2024**

## ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mustafa Safa KALAY

20/12/2024

# ELEKTRİK ÜRETİM SANTRALLERİNİN GEÇMİŞ, MEVCUT VE GELECEK YÖNETMELİKLERE GÖRE MALİYET VE AMORTİSMAN SÜRELERİNİN BELİRLENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Mustafa Safa KALAY

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2024

## ÖZET

Elektrik üretimi, toplumların ekonomik kalkınma ve teknolojik ilerleme süreçlerinde hayati bir rol oynamaktadır. Bu kapsamda, elektrik üretim santrallerinin maliyet yapıları ve amortisman süreleri, yatırım kararlarının ve sürdürülebilir enerji politikalarının temel unsurları arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, elektrik üretim santrallerinin maliyet ve amortisman süreleri, geçmiş, mevcut ve gelecekte olması beklenen düzenlemeler çerçevesinde kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir enerji üretimi ve ekonomik kalkınmadaki önemi vurgulanmış; bu çerçevede örnek olarak seçilen bir Güneş Enerji Santrali (GES) üzerinden detaylı analizler gerçekleştirilmiştir. Araştırma, Türkiye'de lisanssız elektrik üretimi kapsamında yenilenebilir enerjiye dayalı tesislerin ekonomik yapısını, teşvik mekanizmalarını ve mahsuplaşma yöntemlerini incelemektedir. Özellikle amortisman sürelerinin doğru belirlenmesinin yatırım süreçleri üzerindeki kritik etkisine dikkat çekilmiş; yenilenebilir enerji tesislerinin ekonomik ömürlerinin belirlenmesinde kullanılan matematiksel yöntemler ve yasal düzenlemelerin finansal etkileri karşılaştırmalı bir yaklaşımla analiz edilmiştir. Mahsuplaşma yöntemlerindeki düzenlemeler ve ihtiyaç fazlası enerji satışına yönelik kısıtlamaların yatırım geri dönüş süreleri üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. İlk yatırım maliyeti 1 200 000 $ olan santralin 30 yıl sonunda net bugünkü değer ile 3 541 124,08 $ net kar elde etmesi öngörülmektedir. Bunun yanı sıra, enerji yatırımlarında maliyet optimizasyonu ve finansal sürdürülebilirlik açısından mevcut ve öngörülen düzenlemelerin rolü tartışılmıştır. Sonuçlar, yenilenebilir enerji yatırımlarının çevresel ve ekonomik avantajlarını vurgularken, bu yatırımların fosil yakıt temelli enerji kaynaklarına güçlü bir alternatif oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma, enerji sektöründeki paydaşların maliyet yönetimi ve stratejik planlama süreçlerinde daha bilinçli kararlar almasına katkı sağlamayı; ayrıca, gelecekteki yasal düzenlemelere yönelik öngörüler sunarak enerji politikalarının geliştirilmesine rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

Bilim Kodu : 92802
Anahtar Kelimeler : Elektrik, santral, yönetmelik, maliyet, amortisman süresi
Sayfa Adedi : 67
Danışman : Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ

# DETERMINATION OF COST AND DEPRECIATION PERIODS OF POWER PLANTS ACCORDING TO PAST, CURRENT AND FUTURE REGULATIONS

(M. Sc. Thesis)

Mustafa Safa KALAY

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2024

## ABSTRACT

Electricity generation plays a vital role in the economic development and technological progress of societies. In this context, the cost structures and depreciation periods of power generation plants are among the key elements of investment decisions and sustainable energy policies. In this study, the cost and depreciation periods of power generation plants are comprehensively evaluated within the framework of past, current and expected future regulations. The importance of renewable energy sources in sustainable energy production and economic development is emphasized; in this context, detailed analyses are carried out on a Solar Power Plant (SPP) selected as an example. The research examines the economic structure, incentive mechanisms and offsetting methods of renewable energy-based facilities within the scope of unlicensed electricity generation in Turkey. Particular attention is drawn to the critical impact of the correct determination of depreciation periods on investment processes; the mathematical methods used in determining the economic life of renewable energy facilities and the financial impacts of legal regulations are analyzed with a comparative approach. The effects of regulations on offsetting methods and restrictions on surplus energy sales on investment payback periods are evaluated. The power plant, whose initial investment cost is 1 200 000 $ is projected to generate a net profit of 3 541 124,08 $ with a net present value at the end of 30 years. In addition, the role of current and projected regulations in cost optimization and financial sustainability of energy investments is discussed. The results highlight the environmental and economic advantages of renewable energy investments and show that these investments constitute a strong alternative to fossil fuel-based energy sources. The study aims to help stakeholders in the energy sector make more informed decisions in cost management and strategic planning processes, and to guide the development of energy policies by providing insights into future regulations.

Science Code : 92802
Key Words : Electricity, power plant, regulation, cost, depreciation period
Page Number : 67
Supervisor : Assist. Prof. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ

# TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını hazırlamamda büyük katkıları olan çok değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Halil İbrahim VARİYENLİ'ye sonsuz sabrı ve desteği için çok teşekkür ettiğimi ifade etmek isterim. Her koşulda bana duyduğu güven ve verdiği motivasyon, tez çalışmamı başarıyla tamamlamamın temelini oluşturmuştur.

Öğrenim hayatım boyunca maddi manevi desteğini hiç esirgemeyen, sürekli çabalayan ve bu noktaya gelmemi sağlayan çok kıymetli annem Saadet KALAY'a sonsuz teşekkür, minnet ve sevgilerimi sunarım. Ayrıca bu tezi kendisine ithaf ettiğimi de belirtmek isterim.

Hem çalışıp hem de akademik anlamda ilerlemenin zorluğunu bilen ve bana her konuda destek olmaya çalışan Başmühendisim Sayın Harun Enes GÖKTAŞ'a'da teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

**Sayfa**

ÖZET ..... iv

ABSTRACT ..... v

TEŞEKKÜR ..... vi

İÇİNDEKİLER ..... vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ..... x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ ..... xi

RESİMLERİN LİSTESİ ..... xii

HARİTALARIN LİSTESİ ..... xiii

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... xiv

1. GİRİŞ ..... 1

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI ..... 3

3. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİ ..... 9

3.1. Güneş Enerjisi ..... 9

3.2. Fotovoltaik Hücreler (PV) ..... 9

3.2.1. Monokristal (Mono-silikon) fotovoltaik hücreler ..... 10

3.2.2. Polikristal (Poli-silikon) fotovoltaik hücreler ..... 10

3.2.3. İnce film fotovoltaik hücreler ..... 11

3.2.4. Perovskit fotovoltaik hücreler ..... 13

3.3. Fotovoltaik Sistem Ekipmanları ..... 13

3.3.1. Evirici (Inverter) ..... 14

3.3.2. Bağlantı ekipmanları ..... 14

3.3.3. Trafo (Transformatör) ..... 16

3.3.4. Şalt Ekipmanları ..... 17

**Sayfa**

3.3.5. Konstrüksiyon malzemeleri ..... 18
3.3.6. Fotovoltaik sistemlerin şebekeye bağlı olma ve olmama durumu ..... 18
3.4. Termal Güneş Kolektörleri ..... 20
3.4.1. Parabolik oluk kolektörler ..... 20
3.4.2. Parabolik çanak kolektörler ..... 21
3.4.3. Güneş kuleleri ..... 23
4. MATERYAL VE METOD ..... 25
4.1. Türkiye'de Lisanssız Elektrik Üretimi ..... 25
4.1.1. Lisanssız elektrik üretiminde ihtiyaç fazlası enerjinin tespiti ve satışı ..... 30
4.1.2. Mahsuplaşma ve mahsup yöntemleri ..... 32
4.2. Güneş Enerji Santralinin Teknik Özellikleri ..... 35
4.3. Ekonomik Analiz ..... 38
4.3.1. Net bugünkü değer ..... 38
4.3.2 İç karlılık oranı ..... 38
4.3.3. Seviyelendirilmiş enerji maliyeti ..... 39
4.3.4. Geri ödeme süresi ..... 40
4.3.5. Fayda/masraf oranı ..... 40
4.3.6. Yatırım getirisi ..... 41
5. BULGULAR VE TARTIŞMA ..... 43
5.1. Üretim ve Tüketim Miktarlarının Değerlendirilmesi ..... 43
5.2. Santral Gelir ve Gider Kalemleri ..... 45
5.2.1. İlk yatırım maliyeti ..... 45
5.2.2. Bakım-onarım, sigorta, uzaktan izleme ve beklenmeyen giderler ..... 46
5.2.3. Yıllık sistem işletim bedeli ..... 48

**Sayfa**

5.2.4. Üretilen enerjinin satışı ve mahsuplaşmadan elde edilen getiri ..... 48

5.3. Ekonomik Analiz Yöntemleri ile Santral Yatırımının Değerlendirilmesi ..... 50

5.3.1. Yatırımın net bugünkü değer yöntemiyle incelenmesi ..... 51

5.3.2. Yatırımın iç karlılık oranının hesaplanması ..... 53

5.3.3. Yatırımın seviyelendirilmiş enerji maliyetinin (LCOE) hesaplanması..... 55

5.3.4. Yatırımın geri ödeme süresinin (GÖS) hesaplanması..... 55

5.3.5. Fayda/masraf oranının hesaplanması ..... 56

5.3.6. Yatırım getirisinin hesaplanması ..... 56

6. SONUÇ VE ÖNERİLER ..... 57

KAYNAKÇA..... 61

ÖZGEÇMİŞ ..... 67

# ÇİZELGELERİN LİSTESİ

**Çizelge** **Sayfa**

Çizelge 4.1. I Sayılı Cetvel, YEKDEM kaynak türüne göre teşvik fiyatları ..... 26

Çizelge 4.2. II sayılı cetvel, YEKDEM yerli üretim ürün kullanımında verilen teşvik fiyatları ..... 27

Çizelge 4.3. 10 Mayıs 2019 tarihinden sonra alınacak çağrı mektupları için uygulanacak tarife ..... 28

Çizelge 4.4. Satışa konu edilebilecek enerji hesabı – Senaryo 1 ..... 30

Çizelge 4.5. Satışa konu edilebilecek enerji hesabı – Senaryo 2 ..... 31

Çizelge 4.6. Saatlik mahsuplaşma örneği ..... 33

Çizelge 4.7. Aylık mahsuplaşma örneği ..... 34

Çizelge 5.1. Üretim, tüketim ve mahsuplaşma miktarları..... 44

Çizelge 5.2. Santralin ilk yatırım maliyeti ..... 45

Çizelge 5.3. Yıllık dolar faizleri..... 46

Çizelge 5.4. İlk yılın sonunda bakım-onarım, sigorta, uzaktan izleme ve beklenmeyen giderler..... 47

Çizelge 5.5. Proje ömrü boyunca işletme giderleri..... 47

Çizelge 5.6. Proje ömrü boyunca yıllık sistem işletim bedelleri ..... 48

Çizelge 5.7. Proje ömrü boyunca oluşan ve oluşması beklenen gelir dağılımı ..... 50

Çizelge 5.8. Yatırım gelirlerinin net bugünkü değer yöntemiyle hesaplanması..... 52

Çizelge 5.9. Yatırım giderlerinin net bugünkü değer yöntemiyle hesaplanması..... 53

Çizelge 5.10. Yatırımın iç karlılık oranının hesaplanması..... 54

Çizelge 5.11. Yatırımın seviyelendirilmiş enerji maliyetinin hesaplanması ..... 55

Çizelge 5.12. Yatırımın ilk 6 yılındaki gelir ve giderlerinin net bugünkü değerleri..... 56

# ŞEKİLLERİN LİSTESİ

**Şekil** **Sayfa**

Şekil 3.1. Bir PV hücresinin eşdeğer devre şeması ..... 10

Şekil 3.2. Parabolik çanak şeması..... 15

# RESİMLERİN LİSTESİ

**Resim** **Sayfa**

Resim 3.1. Monokristal güneş hücresi ..... 10

Resim 3.2. Polikristal güneş hücresi..... 11

Resim 3.3. Bakır indiyum galyum diselenit (CIGS) solar hücresi..... 12

Resim 3.4. Üç fazlı string evirici ..... 14

Resim 3.5. Kırmızı ve siyah solar kablo ..... 16

Resim 3.6. MC4 konnektörü..... 16

Resim 3.7. Parabolik oluk kolektör ..... 21

Resim 3.8. Parabolik çanak kolektör ..... 23

Resim 3.9. Türkiye'de bulunan bir güneş kulesi ..... 23

Resim 4.1. Santral sahasının iki farklı açıdan görünümü ..... 36

Resim 4.2. Santrale ait uydu görüntüsü ..... 36

Resim 4.3. Evirici ve birleştirici kutu ..... 37

Resim 4.4. Trafonun içi ve dışı..... 38

# HARİTALARIN LİSTESİ

**Harita** **Sayfa**

Harita 4.1. Konya ili güneş potansiyeli atlası ..... 35

# SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| Simgeler | Açıklamalar |
|---|---|
| **°C** | Santigrat derece |
| **$** | Dolar |
| **%** | Yüzde |
| $C_t$ | Projenin t yılındaki maliyetleri |
| $F_t$ | Projenin t yılındaki sağladığı faydalar |
| $I$ | Akım |
| $I_D$ | Diyot akımı |
| $I_{ph}$ | Fotovoltaik akım |
| **kW** | Kilowatt |
| **kWe** | Kilowatt-elektrik |
| **kWp** | Kilowatt-peak |
| **m²** | Metrekare |
| $n$ | Proje ömrü |
| $OM_t$ | Projenin t yılındaki yıllık masrafları |
| $r$ | İskonto oranı |
| $R_t$ | Projenin t yılındaki nakit akışı |
| **W** | Watt |

| Kısaltmalar | Açıklamalar |
|---|---|
| **AC** | Alternatif Akım |
| **CIGS** | Bakır İndiyum Galyum Diselenit |
| **COVE** | Değerlendirilmiş Enerji Maliyeti |
| **CRS** | Merkezi Alıcı Sistemi (Concentrated Solar Receiver) |
| **CSP** | Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi |
| **CZTS** | Bakır Çinko Kalay Sülfür (Copper Zinc Tin Sulfide) |

| Kısaltmalar | Açıklamalar |
|---|---|
| **DC** | Doğru Akım |
| **EPDK** | Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu |
| **EPİAŞ** | Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. |
| **GDO** | Genetiği Değiştirilmiş Organizma |
| **GES** | Güneş Enerji Santrali |
| **GÖS** | Geri Ödeme Süresi |
| **GTŞ** | Görevli Tedarik Şirketi |
| **IRR** | İç Verim Oranı (Internal Rate of Return) |
| **İKO** | İndirgenmiş Kaçınılan Maliyet Oranı |
| **KDV** | Katma Değer Vergisi |
| **KGK** | Kamu Gözetim Kurumu |
| **KV** | Kilovolt |
| **LACE** | Basitleştirilmiş Kaçınılan Enerji Maliyeti |
| **LCOE** | Düzeltilmiş Enerji Maliyeti |
| **MW** | Megawatt |
| **NBD** | Net Bugünkü Değer |
| **PDC** | Parabolik Çanak Kolektör (Parabolic Dish Collector) |
| **PJM** | ABD Orta Atlantik Bölgesi Enerji Piyasası |
| **PTC** | Parabolik Oluk Kolektör (Parabolic Trough Collector) |
| **PV** | Fotovoltaik (Photovoltaic) |
| **PVC** | Polivinil Klorür |
| **RIE** | Reaktif İyon Aşındırma (Reactive Ion Etching) |
| **ROI** | Yatırım Getirisi (Return on Investment) |
| **SKF** | Sistem Kullanım Faturası |
| **TEDAŞ** | Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. |
| **TES** | Termal Enerji Depolama (Thermal Energy Storage) |
| **TFRS** | Türkiye Finansal Raporlama Standartları |
| **TL** | Türk Lirası |
| **TMS** | Türkiye Muhasebe Standartları |
| **UV** | Ultraviyole |
| **VUK** | Vergi Usul Kanunu |
| **XLPE** | Çapraz Bağlı Polietilen (Cross-Linked Polyethylene) |

| Kısaltmalar | Açıklamalar |
|---|---|
| **YE** | Yenilenebilir Enerji |
| **YEK** | Yenilenebilir Enerji Kaynakları |
| **YEKDEM** | YEK Destekleme Mekanizması |

# 1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacı toplumların gelişmişlik düzeyine, endüstriyel ekonomisinin büyüklüğüne, nüfus yoğunluğuna, teknolojik gelişmişliğine ve yaşam tarzlarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Enerji sektörü endüstriyel büyüme, tarım, ticaret ve genel olarak ulusal kalkınma için vazgeçilmezdir [1]. Enerji üretimi ekonomik büyüme üzerinde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahip olup hem çevreye hem de ülkelerin ekonomik gelişimine olumlu katkı sağlamaktadır. Elektrik üretiminin gerekliliği, ekonomik ve sosyal kalkınmadaki önemli rolünden de anlaşılacağı üzere, onu temel bir hak ve günlük yaşamda bir gereklilik haline getirmektedir [2]. Teknolojik yenilikler ve ekonomik büyüme nedeniyle küresel elektrik tüketiminin sürekli olarak artmasıyla birlikte elektrik talebi önemli ölçüde artmıştır [3].

Her geçen gün artan talebi karşılamak amacıyla elektrik üretimin çeşitli yolları geliştirilmektedir. Elektrik üretiminin üretimde kullanılan kaynak bazında 2 temel çeşidi vardır. Bunlar yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynaklarıdır. Yenilenemeyen enerji kaynakları, fosil yakıtları (kömür, petrol, doğal gaz) ve nükleer enerjiyi kapsar. Bunlar tükenebilir ve insanla ilgili zaman dilimlerinde yenilenemezler. Yenilenebilir enerji kaynakları tekrar kullanılabilen kaynaklardır ve güneş enerjisi, hidroelektrik, rüzgâr enerjisi, biyokütle, jeotermal enerji ve gelgit enerjisini içerir [4]. Her iki kaynağın da kendine özgü avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır fakat yenilenebilir enerji kaynakları yenilenemeyen enerji kaynaklarına göre daha avantajlıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları, kirlilik yaratmadıkları ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı önemli ölçüde sınırlayabildikleri için geleneksel enerji kaynaklarının yerine geçebilecek etkili bir alternatiftir [5]. Yenilenebilir enerji, özellikle de doğrudan güneş enerjisi, uzun vadeli sürdürülebilirlik için gereklidir ancak yaygın olarak benimsenmesi için teknik, çevresel ve toplumsal zorlukların ele alınması gerekmektedir [6]. Dünya'da her geçen gün daha da yaygınlaşan uygulamalar ve birim kW başına enerji maliyeti düşerken, ülkemizde bu durum mevcut ekonomi politikaları sebebiyle birim kW başına maliyet artmaktadır. Türkiye, coğrafi, siyasi ve ekonomik bakımdan olduğu gibi enerji kaynaklarına olan konumu itibarı ile de bu kaynakların ortasında yer almaktadır. Böylesine önemli bir pozisyonda bulunan ülkemizin kendi zengin kaynaklarını verimli olarak kullanması,

geçmişteki sıkıntılardan çıkarılan derslere, sürekli devam eden durum analizlerine, matematiksel hesaplamalara ve ayrıntılı stratejik planlara bağlıdır [7].

Bu çalışmanın amacı, elektrik üretim santrallerinin amortisman sürelerini geçmiş, mevcut ve gelecekteki Yönetmeliklere göre kapsamlı bir şekilde incelemek ve bu bağlamda santrallerin ekonomik ömürlerini belirlemede kullanılan yöntemleri değerlendirmektir. Elektrik üretim santrallerinin amortisman süreleri, yatırım geri dönüşü, maliyet analizi ve finansal sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşımaktadır. Çalışma, yenilenebilir enerji kaynağına dayalı olan bir Güneş Enerji Santrali'nin (GES) mahsup yöntemlerine göre, üretim ve tüketimin gerçekleştiği yere göre amortisman süreçlerini karşılaştırmalı olarak ele almayı ve bu süreçlerin maliyet yapıları üzerindeki etkilerini analiz etmeyi hedeflemektedir. Aynı zamanda, geçmiş deneyimlerden elde edilen veriler ışığında gelecekteki yönetmeliklerin ve teknolojik gelişmelerin bu süreçler üzerindeki potansiyel etkilerini öngörmek ve stratejik planlamalar için öneriler geliştirmek amaçlanmaktadır. Böylece, bu çalışma, enerji sektöründe faaliyet gösteren şirketlerin, yatırımcıların ve politika yapıcıların, amortisman süreleri ve ilgili yönetmelikler konusunda daha bilinçli ve etkili kararlar almasına katkı sağlamayı ve gelecek Yönetmelikler üzerine olası senaryolar oluşturmayı hedeflemektedir.

# 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışmasında elektrik üretim santrallerinin ülkemizdeki Yönetmeliklere göre maliyet ve amortisman sürelerinin belirlenmesi kapsamında ilk olarak yenilenebilir enerji kaynakları, destekleme ve enerji alım mekanizmaları, ülkemiz ve diğer ülkelerde mevcut örneklere dair yazılmış tez çalışmaları, makaleler, araştırma yazıları, bildiriler ve duyurular incelenmiş ve buna uygun olarak literatür taraması yapılmıştır.

Stan Kaplan (2008) raporunda, 2015 yılında inşa edilecek yeni fosil, nükleer ve yenilenebilir enerji santrallerinin olası enerji maliyetlerine ilişkin tahminler sunmakta ve devlet teşviklerinin mevcudiyeti gibi farklı varsayımların teknolojilerin maliyet sıralamasını nasıl değiştirdiğini göstermektedir. Projeksiyonların hiçbiri "en olası" durum olarak tasarlanmamıştır. Gelecekteki belirsizlikler kesin tahminleri engellemektedir. Bu nedenle, teknolojilerin maliyete göre sıralanması da bir tahmindir ve her bir seçeneğin göreceli maliyet rekabetçiliğine ilişkin kesin tahminler olarak görülmemelidir. Bu tartışmanın değeri, gelecekteki enerji maliyetlerinin nokta tahminlerinin bir kaynağı olarak değil, Kongre tarafından etkilenebilecek faktörler de dahil olmak üzere gelecekteki sonuçları belirleyebilecek faktörler hakkında bir fikir kaynağı olarak görülmelidir. Temel gözlemler arasında aşağıdakiler yer almaktadır:

Devlet teşvikleri, üretim teknolojilerinin göreceli maliyetlerini değiştirebilir. Örneğin, federal kredi garantileri nükleer enerjiyi yüksek maliyetli bir teknolojiden nispeten düşük maliyetli bir seçeneğe dönüştürebilir.

En yaygın olarak inşa edilen büyük doğal gaz santrali türü olan doğal gaz yakıtlı kombine çevrim santrali, yakıt fiyatı, inşaat maliyeti, devlet teşvikleri ve karbon kontrollerine ilişkin çok çeşitli varsayımlar altında rekabetçi bir üretim teknolojisidir. Bu durum, enerji santrali geliştiricilerinin 1990'lardaki modeli izlemeye devam etme ve yeni üretim kapasitesi ihtiyacını karşılamak için büyük ölçüde doğal gaz santrallerine güvenme olasılığını artırmaktadır.

Mevcut teknoloji ile, karbon yakalama ekipmanı kullanan kömür yakıtlı enerji santralleri, karbon kontrolü durumunda pahalı bir elektrik kaynağıdır. Rüzgar, nükleer, jeotermal ve

yakalama teknolojisi olmayan doğal gaz kombine çevrimi gibi diğer güç kaynakları şu anda daha ekonomik görünmektedir.

Dinçer'in (2011) yaptığı çalışmada, enerji konusunun küresel ölçekte insanlık için hayati bir öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır. Günümüzde birçok ülke, enerji arz-talep dengesini sağlamak ve enerji güvenliğini artırmak amacıyla düzenli olarak enerji politikaları üzerinde tartışmalar yürütmekte ve toplantılar organize etmektedir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkili ve verimli bir şekilde kullanımına yönelik çabalar öne çıkmaktadır. Özellikle fotovoltaik enerji sistemleri, yenilenebilir enerji teknolojileri arasında öne çıkan bir kaynak olarak dikkat çekmektedir. Güneş enerjisinin sınırsız ve temiz bir enerji kaynağı olması, bu sistemlerin önemini artıran temel unsurlar arasındadır. Çalışmalar, fotovoltaik güç sistemlerinin gelecekte enerji üretiminde önemli bir rol oynayacağını ve elektrik üretiminde kritik bir paya sahip olacağını göstermektedir.

Haas ve diğerleri (2011) çalışmalarında AB ülkelerinde yenilebilir enerji destekleme mekanizmalarını teker teker tanımlamışlar ve hangi destekleme mekanizmasının en etkin olduğunu tespit etmeye çalışmışlardır. Son derece ayrıntılı incelemelerin yapıldığı çalışmada destekleme çeşitleri farklı şekillerde sınıflandırılmıştır.

David ve Peter Schwartzman (2013) çalışmalarında atmosfere karbon emisyonlarının hızla azaltılmaz ve şu anda güvenli olmayan atmosferik seviye (400 ppm) CO2 (ve yükseliyor) tutma teknolojileri ile 350 ppm'in altına düşürülmezse felaket iklim değişikliğinin (C3) kaçınılmaz olduğunu önemle vurgulamışlardır. C3'ün önlenmesi, küresel fosil yakıt kaynaklarının rüzgar, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi ve fotovoltaik ile ikame edilmesiyle mümkün olabileceğini; bunun önündeki başlıca engelin ise küresel kapitalizmin ekonomi politikası özellikle de Askeri Endüstriyel (Fosil Yakıt, Nükleer, Devlet Terörü) kompleksidir. C3'ün önlenmesi muhtemelen küresel demilitarizasyon, endüstriyel/genetiği değiştirilmiş organizma (GDO) tarımının yerini alan agroekolojiler, solarizasyon ve demokratik, aşağıdan yukarıya yönetişim gerektirmektedir. Küresel Güney'de enerji yoksulluğu sona ermeli ve minimum 3,5 kilowatt/kişi seviyesine ulaşılmalıdır. Bu güneş enerjisine geçiş, konvansiyonel petrolün kanıtlanmış rezervlerinin %40'ından daha azını kullanarak 20 ila 30 yıl içinde gerçekleştirilebilirken, tarımsal ekolojiler ve karbonatın yerkabuğuna gömülmesi yoluyla CO2'nin atmosferden tutulması için yeterli enerji

sağlayarak C3'ü önlemek için zamanında güvenli bir atmosferik CO2 seviyesine ulaşma olasılığını en üst düzeye çıkarır şeklinde öneride bulunmuşlardır.

Fındık (2014) çalışmasında, elektrik enerjisi üreten işletmelerin muhasebe organizasyon yapılarının oluşturulması personel organizasyonu, belge düzeni, defter ve kayıt düzeni, hesap planı ve finansal raporlama açısından incelenmiştir. Envanter ve değerleme işlemleri VUK ve TMS/TFRS'ye göre ayrıntılı olarak açıklamaya çalışmıştır. Elektrik enerjisi piyasasında "maliyet bazlı fiyatlandırma mekanizması" geçerli olduğundan, bu işletmelerde uygulanması gereken maliyet sistemini ilgili düzenlemeler ışığında açıklamıştır. Doğal gazı yakıt olarak kullanan elektrik enerjisi üreten işletme baz alınarak muhasebe ve maliyet uygulamasını yapmış, KGK tarafından açıklanan TMS/TFRS'ye uygun finansal raporlamayı sunmuştur.

Nadarajah ve Vakeesan (2016) nüfus artışının ve teknolojik gelişmelerin enerji talebini hızla artırdığını ifade etmektedir. Araştırmacılar, gelecekteki enerji talebine yanıt verebilmek adına güvenilir, maliyet etkin ve sınırsız bir enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji (YE) kaynaklarının önemini vurgulamaktadır. YE kaynakları arasında güneş enerjisi, uzun vadeli enerji krizlerinin yönetiminde masrafsız erişilebilen bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı rezervleri ve yüksek maliyetleri karşısında güneş enerjisi, küresel enerji talebindeki artış nedeniyle giderek büyüyen bir pazar haline gelmektedir. Güneş enerjisinin gelişimini destekleyen uzun süreli araştırmalar sonucunda, bu enerji kaynağının maliyet etkin hale geldiği ve özellikle gelişmekte olan ülkelerde ekonomik büyüme ve istihdam yaratmada önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir. Yazarlar, güneş enerjisinin yüksek kullanılabilirlik ve kapasite avantajlarıyla gelecekteki enerji talebi için en uygun seçenek olabileceğini öne sürmektedir.

Akar (2016) yaptığı çalışmada Ankara ili Haymana ilçesindeki 1 150 kWp kurulu güce sahip bir güneş enerjisi üretim santralinin ilk yatırım maliyetini, geri dönüş süresini, sistem performansını ve performansa etki eden etkenleri incelemiştir. Mali analizlerde 2014 Kasım ayından itibaren sistemin bir yıllık gerçek elektrik üretim verileri kullanılmıştır.

Rio ve Gual (2017) çalışmalarında, bir destekleme mekanizmasının verimliliğinin şebeke bağlantı kriterlerinden, devreye alma prosedürüne kadar birçok bileşenin ortak değerlendirilmesi sonucu elde edilebilen bir olgu olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Tekkale (2018) yaptığı çalışmada Türkiye'nin farklı yerlerinde yapılacak arazi tipi lisanssız güneş enerjisi santrali yatırımlarının teknik ve finansal analizini yapmıştır. Üretime devam eden üç güneş enerjisi santralinin tasarımları PVsyst çıktıları ile kıyaslanarak program verilerinin doğruluğu test edilmiştir. Sekiz il arasında yapılan karşılaştırma sonucunda Şanlıurfa ili inceleme içindeki en verimli bölge olarak tespit edilmiş ve bölgede yapılacak yatırım üzerine finans kuruluşlarından alınabilecek kredi imkanları değerlendirilmiştir. Maliyet analizinde enerji birim maliyeti, amortisman süresi, iç verim oranı ve net bugünkü değer hesapları kullanılmıştır. Sonuç kısmında da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve teşvikler hakkında önerilerde bulunulmuştur.

Sağlam (2018), çalışmasında fotovoltaik (PV) sistemlerin kurulum süreçlerine odaklanmıştır. Araştırmada, güneş enerji santrallerinin altyapılarının oluşturulması ile ilgili ayrıntılı bilgiler sunulmuş, ayrıca kabul süreçleri ve mahsuplaşma mekanizmaları hakkında önemli bulgulara yer verilmiştir. Türkiye'deki Adana, Osmaniye, Niğde, Mersin ve Konya illerinde faaliyet gösteren güneş enerjisi üretim santrallerinin gerçek üretim verileri, simülasyon verileri ile karşılaştırılmış ve simülasyon programlarının doğruluk oranları değerlendirilmiştir. Çalışma, bu sistemlerin kurulum, işletme süreçlerine ve mahsuplaşma verilerine ilişkin önemli veriler sağlamaktadır.

Alkan (2019), çalışmasında güneş enerjisi santrallerinin tasarım, simülasyon ve uygulama aşamalarını ele almıştır. Araştırmada, özellikle birim alandan en yüksek verimi elde etmeye odaklanılmış ve çeşitli simülasyon programlarının verileri karşılaştırılarak doğu-batı yönelimli sistemlerin avantajları ve dezavantajları incelenmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne ait Hidayet Türkoğlu Spor Kompleksi'nde gerçekleştirilen bir fizibilite çalışması kapsamında, sistemin maliyet analizleri ve amortisman süresi değerlendirilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular, güneş enerjisi sistemlerinin maliyet etkinliğini ve verimliliğini artırmak amacıyla yapılan analizlere dayanmaktadır.

Saray (2019) yapmış olduğu çalışmasında, yenilebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, rüzgar enerjisi santrallerinin yatırım maliyetlerini inceleyerek devlet tarafından desteklenen enerji fiyatları ile yatırımın karlılığı ve geri dönüş sürelerini karşılaştırmıştır. Çalışmasında, Ege Bölgesinde bulunan rüzgar enerjisi santrali ve güneş enerjisi santrali yatırımlarını incelenmiş, firma bilgilerinin gizliliği nedeniyle yapılmış olan yatırımlardan

referans alınarak yatırım maliyetlerini güncellemiştir. Yatırıma ilişkin nakit akım tablolarını oluşturmuş ve yatırımcı için en önemli nokta olan ağırlıklı ortalama sermaye maliyetini hesaplanarak, yatırımların net bugünkü değerlerini bulmuştur. Değişen piyasa koşullarında öngörülebilirliği artırmak amaçlı kötümser, baz ve ılımlı olmak üzere üç farklı senaryo oluşturmuş ve bu yatırımda kullanılacak özkaynak oranları değiştirilerek elde edilen üç alt senaryolar ile dokuz farklı senaryoda oluşacak getirilerin net bugünkü değerlerini bularak yatırımların risk ölçümlerini yapmıştır. Sonuç olarak lisansız enerji üretiminde güneş enerjisi yatırımının daha verimli bir yatırım olduğu sonucuna ulaşmıştır. Çalışma, enerji yatırımı yapmak isteyen küçük yatırımcının yatırım sırasında karşılaşacağı maliyetler ile yatırımın verimliliğini etkileyen unsurlar hakkında bilgi vermekte ve sermayenin verimli kullanılması konusunda yatırımcıya yol göstermektedir.

Çelebi (2019) yaptığı çalışmasında; Adıyaman'da bulunan bir fabrika çatısında kurulu bir güneş enerji santralini incelemiştir. Şebeke bağlantılı sistemin tasarım ve benzetimi PVsyst yazılımı ile yapılmıştır. Teorik olarak üretilen enerji miktarı ile tesisin gerçek zamanlı üretim değerleri kıyaslanarak sonuçların birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple gelecekte kurulacak olan endüstriyel tipi FV santraller için bu çalışmanın örnek olabileceği yargısına varılmıştır. Yapılan ekonomik analiz ile üretilen enerjinin birim maliyeti yaklaşık 0,08 $/kWh olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte projenin 2,3 yılda kendisini amorti edeceği belirtilmiştir.

Simhson ve arkadaşları (2020) çalışmalarında, Rüzgar türbinleri veya güneş panelleri gibi yenilenebilir enerji sistemlerinin tasarımında geleneksel olarak düzeltilmiş Enerji Maliyeti (LCOE) kullandığını, ancak bu yöntemin enerjinin zamanla değişen değerini hesaba katmadığını vurgulamışlardır. Bu dezavantajın hem tek bir türbin hem de tüm bir rüzgar çiftliği için geçerli olduğunu belirtmişlerdir. Bunu düzeltmek için, üretim zamanına ve şebeke talebine göre enerjiyi değerlendirmek üzere iki yeni, nispeten basit ölçüm geliştirmişlerdir: Basitleştirilmiş Düzeylendirilmiş Kaçınılan Enerji Maliyeti (LACEs) ve Değerlendirilmiş Enerji Maliyeti (COVE). Bu iki ölçümün; doğrusal bir fiyat-talep ilişkisi, saatlik talebin tahmini ve tahmin edilen saatlik üretim verilerinin tahmini ile elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Sonuçlarının, yıl boyunca gerçek fiyat ve talepte önemli stokastik değişimler olmasına rağmen, PJM bölgesi (ABD'de bir orta Atlantik bölgesi) için bu basitleştirilmiş modellerle hem rüzgar hem de güneş enerjisi için değer eğilimlerinin makul bir şekilde tahmin edildiğini göstermiştir. Söz konusu geliştirdikleri yöntemi Rüzgar

türbin santral tasarımıyla ilgili çalışmada ele aldıklarında, Kapasite Faktörünü artırmanın COVE'yi önemli ölçüde azaltabileceğini ve dolayısıyla Yatırım Getirisini artırabileceğini gösterdiğini belirtmişleridir. Bu nedenle, COVE ve LACE'ler yenilenebilir enerji sistemlerini tasarlarken ve optimize ederken etkin bir yöntem olabilir (LCOE ile karşılaştırıldığında) sonucuna varmışlardır.

Yıldırım (2023) yapmış olduğu çalışmasında, Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Kampüsü içinde bir arazi seçmiş ve arazi üzerinde 1 MWp kurulu gücünde 5.1.c kapsamında bir GES kurmuş, santralin üretim hesaplamalarını yapmış, ardından ülkemizdeki mevcut satış kısıtlamalarının lisanssız GES'ler üzerindeki etkilerini farklı senaryolar üzerinden analiz etmiş ve yeni lisanssız elektrik üretim yönetmeliğine göre tasarlanacak şebeke bağlantılı bir güneş enerjisi üretim santralinin optimize edilmiş kurulu güç kapasitesinin tesisi ile enerji maliyetlerini en aza düşürmeyi yatırım geri ödemelerini en kısa süreye indirmeyi amaçlamıştır.

Ok ve Çokmutlu (2024), fosil yakıtlardan kaynaklanan karbon emisyonlarındaki artışın, küresel çevre sorunlarından biri olduğunu ve bu sorunun çözümünde temiz enerji kullanımının teşvik edilmesinin önemli bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Araştırmacılar, Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretimiyle ilgili yasal çerçeveyi incelemiş ve lisanslı ile lisanssız üretim için iki farklı düzenlemenin bulunduğunu belirtmişlerdir. Özellikle, 12 Mayıs 2019 tarihinde yürürlüğe giren "Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliği" ve bu yönetmelikte yapılan düzenlemeler arasında, mahsuplaştırma ve bedelsiz katkı uygulamalarının kritik öneme sahip olduğuna dikkat çekmişlerdir. Ayrıca, çalışmada mahsuplaşma ile bedelsiz katkı hesaplamalarına yönelik öneriler sunulmuştur.

Literatür araştırmasında, Türkiye'deki yönetmelikler doğrultusunda elektrik üretim santrallerinin maliyet ve amortisman süreleri incelenmiş, yenilenebilir enerji kaynakları ve ilgili destekleme politikaları detaylandırılmıştır. Aynı zamanda fosil yakıtların çevresel ve ekonomik sınırlamalarıyla birlikte güneş ve rüzgar enerjisinin maliyet etkinliği, yatırım süreçleri ve uzun vadeli sürdürülebilirliği değerlendirilmiştir. Türkiye örnekleri üzerinden enerji birim maliyetleri, amortisman süreleri ve finansal risk analizleri araştırılmıştır.

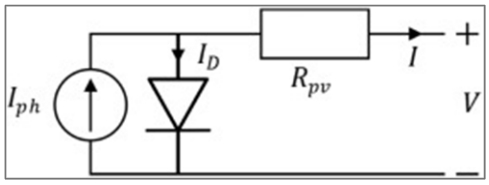
# 3. GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİ

## 3.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğindeki füzyon süreci sırasında açığa çıkan ışıma enerjisidir. Güneş, yaklaşık olarak 3,9x1026 watt güç üreten, temiz ve tükenmeyen bir enerji kaynağıdır [8]. Güneş enerjisi, güneş ışığının fotovoltaik hücreler (PV) ya da güneş kolektörleri ile toplanarak elektrik veya ısı enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilen yenilenebilir bir enerji türüdür. Yeryüzüne ulaşan en bol enerji kaynağı olan güneş enerjisi, sürdürülebilir enerji üretiminde önemli bir rol oynar ve büyük bir potansiyele sahiptir [9]. Küresel çapta, güneş enerjisinden elektrik üretimi her geçen gün hızla artmaktadır. Güneş enerjisine dayalı enerji üretimi iki temel teknolojiye dayanmaktadır. Bunlar, fotovoltaik (PV) sistemler ve termal (CSP) güneş enerji sistemleridir.

## 3.2. Fotovoltaik Hücreler (PV)

Fotovoltaik (PV) panel, emilen güneş enerjisini elektriğe dönüştüren bir DC güç kaynağıdır. Bir PV panelin temel cihazı PV hücresidir. Bir PV paneli, daha yüksek çıkış gücü elde etmek için seri ve/veya paralel bağlanmış birden fazla PV hücresinden oluşur. PV hücresi, genellikle silikon olmak üzere yarı iletken bir yapıya sahiptir. Elektrik üretimi, emilen güneş enerjisi tarafından uyarılan elektronların yarı iletken p tipi yarı iletken ve n tipi yarı iletken bağlantısının yakın çevresinde bulunan PV hücresinin yüzeyinden yayıldığı PV hücresindeki fotoelektrik etkiye dayanmaktadır [10]. Şekil 3.1.'de bir PV hücresinin eşdeğer devre şeması gösterilmiştir.



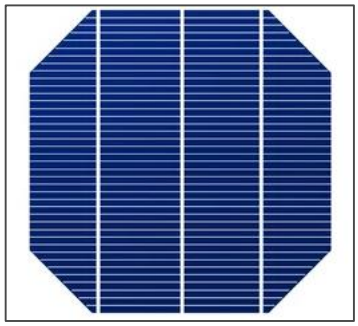

Şekil 3.1. Bir PV hücresinin eşdeğer devre şeması

Çevre dostu bir teknoloji olan fotovoltaik (PV) paneller, artan enerji talebini karşılayan ve geleneksel enerji kaynaklarında meydana gelen kıtlığı ikame eden önemli bir elektrik kaynağı olmakla birlikte, minimum düzeyde bakım gereksinimi, düşük maliyet etkinliği ve

yüksek enerji verimliliği sunan sade fakat sağlam yapılarıyla, elektrik üretiminde yaygın olarak tercih edilen bir teknoloji haline gelmiştir [11]. Güneş enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan ve ışıma enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren ana eleman olan fotovoltaik hücreler temel olarak 4 kategoriye ayrılır. Bunlar; monokristal paneller, polikristal paneller, ince film paneller ve perovskit panellerdir.

### 3.2.1. Monokristal (Mono - Silikon) fotovoltaik hücreler

Bu hücreler saf monokristal silikondan yapılır. Bu hücrelerde silikon, Czochralski yöntemiyle üretilir ve neredeyse hiç kusur veya kirlilik içermeyen tek bir sürekli kristal kafes yapısına sahiptir. Üretim süreçleri oldukça karmaşık ve pahalıdır, bu durum doğal olarak diğer teknolojilere göre maliyetini artırmaktadır. Ancak, verimlilikleri %15 ile %24 arasında değişmekle birlikte diğer hücrelere kıyasla yüksektir. (Kalogirou, 2009). Monokristal güneş hücreleri güneş enerji santrallerinde en çok kullanılan hücrelerden biridir. Resim 3.1.'de monokristal bir hücre gösterilmiştir.



Resim 3.1. Monokristal güneş hücresi

### 3.2.2. Polikristal (Poli – Silikon) fotovoltaik hücreler

Polikristal silisyum (pc-Si) gofretler geniş yüzey alanlarında üretilebilmektedir. Düşük maliyetli pc-Si'nin plazma işlemi, yüksek geçirgenlikte bir yüzey oluşturmak ve ışık emilimini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Reaktif iyon aşındırma (RIE) olarak bilinen bu işlem, ışık emiliminde yaklaşık %40 oranında göreli bir artış sağlamaktadır. Polikristal silisyum, silikonun eritilmesi ve kristallerin belirli bir yönde yönlendirilmesi ile üretilmekte olup, bu süreçte bloklar halinde katılaştırılan silisyum külçesi, sonrasında ince gofretler halinde dilimlenmektedir. Polikristal hücreler, güneş pili üretim maliyetlerini düşürme açısından uygun bir malzeme sunmaktadır ancak verimlilikleri, monokristal

hücreler ve diğer gelişmiş malzemelerle karşılaştırıldığında daha düşüktür. Bununla birlikte, polikristal hücreler, monokristal hücrelere kıyasla daha düşük metal kirliliği ve daha az kristal kusuru içermektedir [12]. Ek olarak, monokristal hücrelerin kenarları pah kırılmış iken, polikristal hücrelerin kenarları keskin ve köşelidir. Resim 3.2.'de polikristal bir hücre gösterilmiştir.



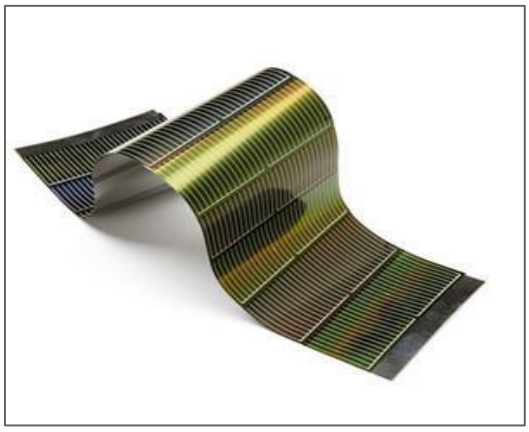
Resim 3.2. Polikristal güneş hücresi

### 3.2.3. İnce film fotovoltaik hücreler

İnce film fotovoltaik hücreleri, geleneksel kristal silisyum güneş hücrelerinin aksine, çok ince yarı iletken tabakalar kullanılarak üretilir. Bu hücreler, genellikle mikrometre veya nanometre kalınlığında materyallerin çeşitli substratlar üzerine kaplanmasıyla elde edilir. Bu yapı, hücrelere esneklik kazandırır ve hafif yapıları sayesinde çeşitli uygulama alanlarına uyum sağlar [13].

Yapısal özellikler

İnce film fotovoltaik hücreler, kadmiyum tellürid (CdTe), bakır indiyum galyum diselenit (CuInGaSe2/CIGS), amorf silikon (a-Si) ve bakır-çinko-kalay-sülfit (CuZnSnS, CZTS) gibi farklı malzemelerden üretilebilir. Bu malzemeler, genellikle birkaç mikrometre kalınlığında olan ince tabakalar şeklinde uygulanır (Kodigala, 2014). İnce tabaka yapısının sağladığı esneklik ve hafiflik, bu hücrelerin geniş yüzey alanlarına düşük maliyetle kaplanmasını ve çeşitli uygulamalarda kullanılmasını mümkün kılar. Resim 3.3'te bakır indiyum galyum diselenit (CIGS) solar hücre gösterilmiştir.



Resim 3.3. Bakır indiyum galyum diselenit (CIGS) solar hücresi [14]

Üretim ve maliyet

İnce film güneş hücrelerinin üretiminde kullanılan malzeme miktarının azlığı ve üretim süreçlerinin basitliği, ince film güneş hücrelerinin kristal silisyum hücrelere kıyasla daha düşük maliyetlerle üretilmesini sağlar. Özellikle roll-to-roll (R2R) üretim yöntemi, sürekli bir folyoyu işleyerek büyük ölçekli üretime olanak tanır. R2R üretim yöntemi, malzeme tasarrufu ve üretim hızını artırarak maliyetleri önemli ölçüde düşürür (Kodigala, 2014).

Dayanıklılık ve kararlılık

İnce film fotovoltaik hücrelerin ömrü, kullanılan malzemelere ve çevresel koşullara bağlı olarak değişir. Örneğin, CdTe bazlı hücreler dış mekan koşullarına ve sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklıdır fakat amorf silikon hücrelerinin performansı zamanla azalabilir.

Verimlilik

İnce film fotovoltaik hücrelerin verimlilik oranları, genel olarak kristal silisyum hücrelerinden daha düşüktür. Ancak verimlilik oranları, kullanılan malzemelere ve üretim tekniklerine bağlı olarak değişiklik gösterir. İnce film fotovoltaik hücreler, düşük ışık koşullarında ve farklı ışık açılarında da enerji üretme kapasitesine sahiptir.

Uygulama alanları

İnce film fotovoltaik hücreler, binaların cephelerine, çatılara ve cam yüzeylere entegre edilebilir. Ayrıca, hafif ve esnek yapı özellikleri nedeniyle taşınabilir güneş enerjisi cihazları ve elektrikli araçlarda da kullanılır.

### 3.2.4. Perovskit fotovoltaik hücreler

Perovskit hücreler, fotovoltaik performanslarıyla öne çıkan üçüncü nesil güneş hücreleri arasında yer almaktadır. Yüksek ışık emilim katsayısı, ayarlanabilir bant aralığı ve geniş taşıyıcı difüzyon uzunluğu gibi üstün özellikleri, bu hücreleri enerji üretiminde verimli ve ekonomik bir seçenek haline getirmektedir. Özellikle organik-inorganik hibrit perovskit malzemeler, düşük maliyetle yüksek verimlilik sunarak, geleneksel silikon tabanlı güneş hücrelerine güçlü bir alternatif teşkil etmektedir. Perovskit güneş hücreleri, elektron taşıma katmanı ve delik taşıma katmanı arasına yerleştirilen bir emici katmandan oluşur ve ışığa maruz kaldığında serbest yük taşıyıcıları üreterek elektrik akımı sağlar. Son yıllarda yapılan araştırmalar, bu hücrelerin güç dönüşüm verimliliğinin %27,3'e kadar ulaştığını göstermiş, bu da perovskit güneş hücrelerinin hızla gelişen bir araştırma alanı olduğunu kanıtlamıştır [15].

## 3.3. Fotovoltaik Sistem Ekipmanları

Fotovoltaik hücreler veya paneller, elektrik enerjisini doğrudan üretime uygun hale getirmek için tek başlarına yeterli değillerdir. Üretilen elektriğin verimli bir şekilde kullanılabilmesi için, uygun forma dönüştürülmesi, gerilim seviyesinin ve frekans değerinin standart işletim koşullarına uygun şekilde ayarlanması ve enerji kayıplarını en aza indirecek şekilde iletilmesi gerekmektedir. Bu işlemleri gerçekleştiren ekipmanlar da fotovoltaik sistemin bütünleyici bir parçasını oluşturmaktadırlar. Fotovoltaik sistemlerin başlıca ekipmanları arasında; evirici (inverter), bağlantı ekipmanları, trafo, şalt ekipmanları ve konstrüksiyon malzemeleri bulunmaktadır. Bu bölümde başlıca ekipmanlardan bahsedilecektir.

### 3.3.1. Evirici (Inverter)

Fotovoltaik sistemlerin verimli çalışabilmesi için kritik bileşenlerden biri olan eviriciler, güneş panelleri tarafından üretilen doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC) çevirerek elektrikli cihazların kullanılmasına olanak tanır. Güneş panelleri DC üretir ancak elektrik dağıtım şebekesinde kullanılan elektrik AC formatındadır. Bu dönüşüm işlemi, sistemin şebekeye entegrasyonu ve enerji arz güvenliği açısından zorunludur. Evirici olarak adlandırılan bu cihazlar, yalnızca enerji dönüşümünü sağlamakla kalmaz, aynı zamanda enerji kalitesini optimize ederek sistemin genel performansını artırır [26]. Santralin şebekeye bağlı olup olmamasına ve kurulu gücüne göre çeşitli evirici tipleri mevcuttur. Bunlar merkezi eviriciler, string eviriciler ve mikro eviriciler olarak 3 çeşittir. Resim 3.4.'te, üç fazlı string evirici gösterilmiştir.



Resim 3.4. Üç fazlı string evirici [55]

### 3.3.2. Bağlantı ekipmanları

Güneş enerji santrallerinde kullanılan bağlantı kabloları ve ekipmanları, sistemlerin genel verimliliği, güvenilirliği ve performansını etkileyen kritik unsurlardan biridir. Bu ekipmanlar, güneş panellerinden eviricilere ve nihayetinde şebeke ya da enerji depolama sistemlerine etkin enerji iletimini sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Fotovoltaik (PV) sistemler, tipik olarak güneş panelleri, eviriciler ve ara bağlantı kablolarından oluşur ve bu bileşenler, güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesini kolaylaştırır (Tăbăraşu ve ark., 2020).

Güneş enerji santrallerinde kullanılan kablolar genel olarak 2 tiptir. Bunlar AC kablolar ve DC kablolardır.

DC kablolar

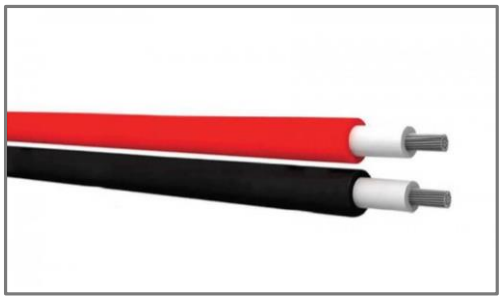
Modül ve dizi kabloları olarak da bilinen bu kablolar, güneş panelleri arasındaki enerji aktarımını ve panellerden eviriciye DC iletimini sağlar. Özel olarak tasarlanmış PV kabloları, güneş ışığına, aşırı sıcaklıklara ve diğer çevresel etkenlere dayanıklıdır. XLPE ve PVC gibi yalıtım malzemeleri ile kaplanarak uzun ömürlü kullanım sunarlar.

AC kablolar

DC enerjisi eviricide AC'ye dönüştürüldükten sonra, sistemde dolaşan elektrik şebekeye iletilene kadar veya depolama sistemine aktarılana kadar AC formundadır. Yüksek akım taşıma kapasitesine sahip bu kablolarda, iletkenlik açısından bakır veya alüminyum tercih edilir. Bakır, genellikle daha yüksek iletkenliği nedeniyle yaygın olarak kullanılır.

Güneş enerjisi elektrik üretim sistemlerinde kırmızı renkli solar kablo, fotovoltaik panellerden gelen pozitif (+) enerjiyi taşır. Siyah renkli kablo negatif (-) enerjiyi taşır. Yaklaşık 25 yıllık ömrü olan güneş enerjisi elektrik üretim santrallerinde açık ortam şartlarında kullanıldıkları için dış etkenlere en çok maruz kalan kablolardır. Bu sebeple oldukça dayanıklı olarak üretilen solar kabloların özellikleri şöyledir [27]. Resim 3.5.'te kırmızı ve siyah renkli solar kablo gösterilmiştir.

- 25 yıl kullanım ömürleri vardır.
- Çalışma gerilimleri yüksektir (AC: 1kV, DC: 1.5kV).
- Yüksek sıcaklık ve soğuğa karşı dirençlidirler (-40 °C – 90 °C).
- Yanmaya karşı dirençlidirler.
- Güneşten gelen UV ışınlarına karşı dayanıklıdırlar.
- Mekanik etkilere karşı oldukça dayanıklıdırlar.



Resim 3.5. Kırmızı ve siyah solar kablo [28]

DC ve AC kabloların paneller, eviriciler ve diğer sistem ekipmanlarıyla güvenli ve dayanıklı elektriksel bağlantıyı sağlamak amacıyla konnektör adı verilen özel parçalar kullanılmaktadır. Özellikle dış mekan koşullarına dayanıklı olan bu konnektörler, su geçirmezlik, UV ışınlarına ve sıcaklık değişimlerine karşı direnç gibi özelliklere sahiptir. En yaygın kullanılan MC4 konnektörleri, hızlı montaj, güvenli kilitleme mekanizması ve düşük enerji kayıplarıyla dikkat çeker. Bu konnektörler, fotovoltaik sistemlerde üretilen enerjinin iletimini güvenli ve verimli hale getirmek için kritik öneme sahiptirler. Resim 3.6.'da en yaygın kullanılan MC4 konnektörü gösterilmiştir.



Resim 3.6. MC4 konnektörü [29]

### 3.3.3. Trafo (transformatör)

Şebeke bağlantılı bir fotovoltaik sistemde, panellerde üretilen DC formundaki enerji eviriciler aracılığıyla AC'ye dönüştürüldükten sonra iletim veya dağıtım şebekesine aktarılabilmesi için trafo gerekmektedir. Trafo, AC gücü farklı voltaj seviyelerine sahip

güç sistemi üzerinden iletim veya dağıtım şebekesine aktaran bir cihazdır. Hem alçak gerilimde üretilen enerjiyi orta veya yüksek gerilim seviyesine yükseltici güç trafoları hem de yüksek gerilimde üretilen enerjiyi orta veya alçak gerilim seviyesine düşürücü güç trafoları mevcuttur. Güneş enerji santralinde bulunan pahalı bir bileşendir ve optimum düzeyde performans göstermesi için iyi durumda tutulmalıdır [30].

### 3.3.4. Şalt ekipmanları

Güneş enerji santrallerinde şalt ekipmanları elektrik enerjisinin güvenli ve verimli bir şekilde yönetilmesi, kontrol edilmesi ve dağıtılması için kritik rol oynayan bileşenlerdir. Bu ekipmanlar, enerji santralinde elektrik üretiminden elektriğin şebekeye aktarılmasına kadar geçen sürede enerji akışını kontrol etmek, olası arızaları tespit etmek ve sistemin güvenli çalışmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Şalt ekipmanları, yüksek gerilim seviyelerinde güvenli operasyon sağlamak için tasarlanmış olup, çoğunlukla hem koruma hem de anahtarlama fonksiyonlarını yerine getirirler.

Kesiciler

Kesiciler, elektrik akımını keserek aşırı yüklenme veya kısa devre gibi tehlikeli durumlara karşı sistemi korur. Kesiciler, hem AC hem de DC devrelerinde kullanılır ve otomatik olarak açılıp kapanabilme özelliği sayesinde meydana gelebilecek arızalar esnasında sistemin zarar görmesini engellerler.

Ayırıcılar

Elektrik devresini manuel olarak kesmek için kullanılan ayırıcılar, bakım veya onarım esnasında devrenin güvenli bir şekilde izole edilmesini sağlar. Güneş enerji santrallerinde ayırıcılar, genellikle güvenlik amacıyla kullanılır ve devre kesicilerle birlikte çalışarak enerji sisteminin kesintisiz operasyonuna katkı sağlarlar.

Röleler

Röleler, sistemin izlenerek herhangi bir arıza durumunda koruma mekanizmalarını devreye alan otomatik anahtarlama cihazlarıdır. Arıza durumlarında kesicileri açarak sistemin

korunmasını sağlarlar. Röleler, özellikle aşırı yük, kısa devre veya toprak arızaları gibi durumlarda devreye girerek sistem güvenliğini artırırlar. Örneğin kaçak akım rölesi, elektrikli cihazlardaki enerjili parçaların yalıtımlarının bozulduğu yerlerde cihaz gövdesinde ortaya çıkan akımdır. Elektrik devresinde ortaya çıkan bu kaçak akımın tespitini yapan ve açma yaparak cinsine göre devreyi veya insanı koruyan ekipmana kaçak akım koruma rölesi denir. Görevini, devreye giren ve çıkan akımın eşitliğini düzenli sürekli kontrol ederek yaparlar (Kahraman, 2022).

Parafudrlar

Güneş enerji santralleri, yıldırım veya ani voltaj yükselmeleri gibi aşırı gerilim olaylarına karşı korunmak zorundadır. Parafudrlar, aşırı gerilimi toprağa ileterek sistemin diğer bileşenlerini korur ve enerji üretim sistemlerinin güvenilirliğini artırırlar.

### 3.3.5. Konstrüksiyon malzemeleri

Güneş enerji santrallerinde kullanılan konstrüksiyon malzemeleri, sistemin dayanıklılığı ve verimliliği için ciddi önem taşır. Santraller dış mekânda kurulduğu için rüzgar, kar, çok düşük sıcaklıklar, buz yükü, sel, deprem ve hatta yüksek sıcaklıklar gibi istenmeyen durumlara karşılık dayanıklı olması bir gerekliliktir. Genellikle, güneş panellerini desteklemek için galvanizli çelik ve alüminyum profiller kullanılır çünkü bu malzemeler korozyona dayanıklı ve uzun ömürlüdür. Beton temeller, panelleri sabitlemek için kullanılarak yapının stabilitesini sağlar. Ayrıca, paslanmaz çelik bağlantı elemanları ile modüler montaj sistemleri, panellerin güvenli bir şekilde yerleştirilmesini sağlar. Çelik ve alüminyum yapılar, bazen polimer kaplamalar ile korunarak çevresel koşullara karşı ek bir dayanıklılık kazandırılır.

### 3.3.6. Fotovoltaik sistemlerin şebekeye bağlı olma ve olmama durumu

Fotovoltaik sistemler şebekeye bağlı olup olmamasına göre ikiye ayrılır. Şebeke bağlı olması ve olmaması temel olarak sistemin kurulum amacına, teknik özelliklerine ve kullanım amacına bağlıdır.

Şebekeye bağlı (On-grid) sistem

Şebekeye bağlı güneş enerji sistemleri, üretilen elektriğin doğrudan elektrik dağıtım şebekesine verildiği sistemlerdir. Bu sistemlerin temel özelliği, fazla üretilen elektriğin şebekeye satılabilmesi ve ihtiyaç duyulduğunda şebekeden elektrik alınabilmesidir. Özellikle gelişmiş ülkelerde bu sistemler yaygındır ve genellikle net ölçüm (net metering) veya besleme tarifesi (fed-in tariff) gibi teşvik mekanizmalarıyla desteklenir. Ülkemizde de bu durum EPDK, EPİAŞ, TEDAŞ ve Elektrik Dağıtım Şirketleri tarafından yürütülür ve YEKDEM mekanizmasıyla desteklenir. Şebekeye bağlı sistemlerde batarya depolama genellikle kullanılmaz ancak günümüz koşullarında oldukça yaygınlaşmaktadır. Depolama sistemleri maliyetleri düşürürken, sistemin güneş olmadığı zamanlarda şebekeye bağımlı kalmasına neden olur.

Teknolojik olarak, on-grid sistemler yüksek verimlilik sağlayan eviricilerle donatılmaktadır ve üretilen DC elektriği, şebeke standartlarına uygun AC elektriğe çevirirler. Şebeke bağlantılı sistemler enerji sürekliliği sağlar ve büyük ölçekli güneş enerji santralleri bu modelde çalışır [31].

Şebekeden bağımsız (Off-grid) sistemler

Şebekeden bağımsız güneş enerji sistemleri, tamamen otonom olup herhangi bir elektrik dağıtım şebekesine bağlı değillerdir. Bu sistemler, özellikle elektrik şebekesinin ulaşamadığı kırsal veya izole bölgelerde daha yaygın olarak kullanılır. Off-grid sistemlerin en önemli bileşenlerinden biri bataryalardır. Güneş enerjisi ile üretilen elektrik, geceleri veya güneşin olmadığı zamanlarda kullanılmak üzere bataryalarda depolanır.

Off-grid sistemler, enerji bağımsızlığı sağlar ancak ilk yatırım maliyetleri daha yüksektir çünkü sadece güneş panelleri değil, batarya ve yedek enerji sistemleri (örneğin, jeneratörler, aküler vs.) de kurulur. Bu sistemler daha karmaşıktır ve enerji yönetimi açısından önemli planlamalar gerektirir. Elektrik üretiminde sürekliliği sağlamak amacıyla enerji depolama kapasitesi önemlidir. Off-grid sistemler, mikro şebekeler veya izole küçük ölçekli tesislerde de yaygın olarak kullanılmaktadır. [32].

## 3.4. Termal Güneş Kolektörleri

Termal güneş kolektörleri, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren diğer bir teknolojidir ve bu dönüşümde termal süreçleri kullanan büyük ölçekli enerji üretim tesisleridir. Bu santrallerde güneş ışığı yoğunlaştırılarak ısı enerjisi üretilir ve bu ısıyı elektrik enerjisine dönüştürmek için çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır. Temel prensip, yoğunlaştırılmış güneş ışığı (CSP) aracılığıyla bir ısı taşıyıcı akışkanı (genellikle su, yağ veya erimiş tuz gibi) ısıtmak ve yüksek sıcaklıkta buhar üretmektir. Üretilen buhar, türbinleri döndürerek jeneratörlerin çalışmasını sağlar ve böylece elektrik üretilmektedir (Ju ve Xu, 2017).

CSP teknolojisi fotovoltaik güneş enerjisi sistemlerinden farklı olarak, termal enerji depolama (TES) sistemleri ile donatılabilir. Bu sistemler, üretilen ısının depolanmasına ve böylece güneşin doğrudan parlamadığı zamanlarda bile enerji üretiminin devam etmesine olanak tanır. Örneğin, erimiş tuz kullanan sistemlerde, tuzun erime noktasında depolanan enerji, daha sonra buhar üretmek için kullanılabilir. Bu tür termal depolama, enerji arzını dengeli ve sürekli kılmak için kritik bir rol oynar.

CSP sistemleri, kullanılan kolektör cinsine göre 3 çeşittir. Bunlar, parabolik oluk kolektörler (PTC), parabolik çanak kolektörler (PDC) ve güneş kuleleri (CRS)'dir.

### 3.4.1. Parabolik oluk kolektörler (PTC)

Parabolik oluk kolektör (PTC) sistemleri, gelişmiş güneş enerjisi teknolojilerinde, yüksek termal verimlilikle enerji dönüşümü sağlayan en etkin yapılar arasında yer almaktadır [16]. Bu sistemler, küçük tesis boyutlarına ve sermaye geri kazanım sürelerini minimize eden bir yapıya sahip olmakla birlikte, yüksek dereceli termal enerji üretimini hedeflemektedir. PTC teknolojisi, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP) sistemleri arasında önemli bir konuma sahip olup, hem termal enerji hem de elektrik enerjisi üretimine olanak tanımaktadır [17]. Resim 3.7.'de parabolik oluk kolektör gösterilmiştir.



Resim 3.7. Parabolik oluk kolektör [18]

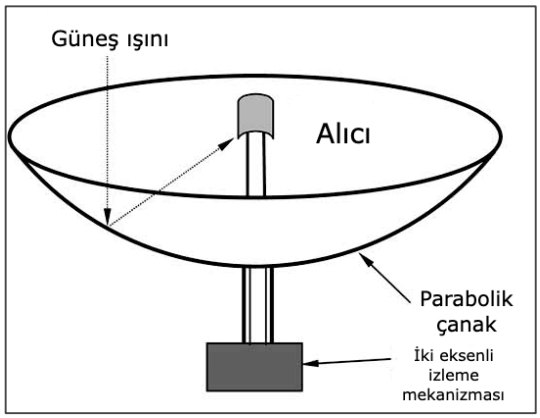
Bu sistemlerde, gelen güneş ışını, doğrusal parabolik aynalar vasıtasıyla bir odak hattına yönlendirilir ve yüksek sıcaklıklarda termal enerji üretimi sağlanır. Çalışma sıcaklığındaki artış, birim alan başına elde edilen enerji miktarını yükseltirken, bu durum, daha kompakt emici yüzeylerle termodinamik verimliliği maksimize eder. Aynı zamanda, emici yüzeyin küçülmesiyle birlikte konvektif ve iletken ısı kayıpları da minimize edilmektedir. PTC sistemlerinin bu üstün özellikleri, özellikle fosil yakıtlarla entegrasyon kolaylığı, olgun teknolojiye sahip olması ve uzun vadede güvenilir enerji üretim kapasitesi ile kendini göstermektedir [19].

Parabolik oluk kolektör sistemlerinin mühendislik tasarımı, hem yüksek sıcaklıklarda çalışma kapasitesi hem de düşük işletme maliyetleri ile dikkat çekmektedir ve bu özellikler sayesinde diğer CSP sistemleri arasında tercih edilebilirliğini korumaktadır.

### 3.4.2. Parabolik çanak kolektörler (PDC)

Parabolik çanak kolektörleri, güneş ışınlarını tek bir odak noktasına yoğunlaştırarak yüksek sıcaklıklara ulaşabilen, verimli güneş termal sistemlerdir. Bu sistemler, yoğunlaştırma oranları 500 - 2 000 arasında değişen ve %94'e kadar optik verimlilik sağlayan yapısıyla 2 000 °C'ye kadar sıcaklıklar elde edilebilir. Parabolik çanaklar, özellikle termokimyasal süreçlerde enerji verimliliğini artırmak için tercih edilmekte olup, yüksek sıcaklık uygulamalarında geniş bir kullanım alanı sunmaktadırlar [20]. Ancak, bu sistemler yoğunlaştırılmış ışığın odak noktasına sürekli yönlendirilmesi gerekliliği nedeniyle iki eksenli izleme sistemi ile çalışmak zorundadır. İzleme gerekliliği, sistemin operasyonel karmaşıklığını artıran unsurlar arasında olup, elektrik üretimini etkileyen en

önemli unsurlardan biri olarak kabul edilmektedir. Şekil 3.2.'de parabolik çanak şeması gösterilmiştir.




Şekil 3.2. Parabolik çanak şeması

Parabolik çanak sistemlerinde yansıtıcı malzeme seçimi kritik öneme sahiptir. Yüksek sıcaklık ve optik verimliliği optimize etmek amacıyla, gümüş kaplı cam ve gümüş kaplı polimer reflektörler öne çıkmaktadır. Polimer reflektörler, daha hafif olmaları ve maliyet etkin çözümler sunmaları sebebiyle tercih edilmektedir ve cam reflektörlere göre daha fazla tasarım esnekliği ve ekonomik avantaj sağlamaktadır [21-22].

Parabolik çanak kolektör sistemlerinin en önemli özelliklerinden birisi de, diğer termal güneş sistemlerinin aksine düzleştirilmiş bir zemine ihtiyaç duymamasıdır. Bu durum, sistemin özellikle kırsal ve elektrik şebekesinden uzak bölgelerde küçük ve orta ölçekli enerji ihtiyaçlarını karşılayabilecek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Tipik olarak 10 kW mertebesindeki güç kapasiteleriyle, kırsal alanlarda bağımsız enerji üretimi için önemli bir alternatif sunar. Ancak, bu sistemlerin başlıca dezavantajlarından biri yüksek maliyetlerdir. Reflektör malzemeleri, toplam maliyetin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. (Nixon ve arkadaşları, 2010). Resim 3.8.'de parabolik çanak kolektör gösterilmiştir.



Resim 3.8. Parabolik çanak kolektör [23]

### 3.4.3. Güneş kuleleri (CRS)

Güneş kuleleri, güneş ışığını kuleye monte edilmiş bir alıcıya ileten ve güneşin hareketini izleyerek birden fazla heliostat kullanarak yüksek sıcaklıklı ısı transfer ortamı sağlayan bir termal güç üretim sistemidir. Sistem, yüksek sıcaklıklı bir ısı transfer sıvısı kullanarak doğrudan veya dolaylı olarak güç üretir ve genellikle bir heliostat, bir alıcı kule, bir alıcı, bir termal depolama ve bir jeneratör ünitesinden oluşur. Heliostatlar, güneş ışığını alıcının içindeki ısı transfer sıvısını ısıtmak için yansıtır. Bu sistemler kısa ısı transfer yolları, düşük ısı kayıpları ve yüksek toplama verimliliği esaslıdır, bu nedenle optik-güç dönüşüm verimliliği yüksektir. Resim 3.9.'da, Türkiye'de bulunan bir güneş kulesi gösterilmiştir.



Resim 3.9. Türkiye'de bulunan bir güneş kulesi [24]

Güneş kulelerinin performansı, kullanılan termal transfer ortamına bağlı olarak değişir. Mevcut termal transfer ortamları arasında su-buhar, erimiş tuz veya hava bulunur. Su-buhar sistemlerinde, alıcıdan üretilen yüksek sıcaklıktaki buhar, doğrudan bir türbini çalıştırarak güç üretir ve verimlilik %15'i aşabilir. Erimiş tuz sistemlerinde de dolaylı bir termal çevrim kullanılarak yüksek sıcaklıkta buhar üretilir ve bu sayede yüksek verimlilik sağlanır. Erimiş tuz sistemleri yüksek sıcaklıkta ve düşük basınçla çalışabilir, bu da sistem verimliliğini artırmaktadır ve enerji depolama için uygundur. Hava alıcıları ise yüksek sıcaklıkta sıcak hava üreten Brayton çevrimini kullanır, bu da gaz tüketimini azaltır ve %30'dan fazla verimlilik sağlar [25].

# 4. MATERYAL VE METOD

Elektrik üretim santralleri, ülke ekonomileri ve enerji arz güvenliği açısından kritik bir rol oynar. Bu santrallerin maliyet ve amortisman süreleri, yatırımcılar ve enerji politikalarını şekillendiren karar vericiler için önemli bir değerlendirme ölçütüdür. Bu tez çalışmasında, kimliğinin gizli tutulması istenen bir elektrik üretim santrali örnek olay incelemesi kapsamında ele alınmıştır. Tezin devamında bu santral için "santral" ifadesi kullanılacaktır. Seçilen santral, enerji üretim süreçlerindeki maliyet yapısı ve amortisman sürelerinin, geçmişten günümüze ve gelecekteki yönetmelik değişiklikleri çerçevesinde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Çalışmada, santralin teknik ve operasyonel özellikleri mevcut düzenlemeler ışığında ayrıntılı olarak ele alınacak; yönetmelik değişikliklerinin işletme maliyetleri ve yatırım geri dönüş sürelerine etkisi kapsamlı bir analizle incelenecektir. Bu bağlamda, enerji sektöründe maliyet ve amortisman süreleri üzerindeki düzenleyici etkiler, örnek olay incelemesi yoluyla akademik bir perspektifle ortaya konulması hedeflenmektedir.

## 4.1. Türkiye'de Lisanssız Elektrik Üretimi

Lisanssız elektrik üretimi, elektrik üretim lisansı almadan veya şirket kurma yükümlülüğü olmadan, gerçek veya tüzel kişilerin Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliği (Yönetmelik) kapsamında elektrik üretmesidir.

Türkiye'de lisanssız elektrik üretimi 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun 14'üncü maddesi ile 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'un 6/A maddesi dayanılarak oluşturulan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'ne göre yapılmaktadır.

Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği ile;

- Tüketicilerin kendi elektrik ihtiyaçlarını karşılayabilmesi,
- Küçük ölçekli üretim tesislerinin ülke ekonomisine kazandırılması ve arz güvenliğinin sağlanması,

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması,
- Elektrik şebekesinde meydana gelen kayıpların azaltılması, amaçlanmaktadır [33].

Türkiye'de lisanssız elektrik üretimine ilişkin ilk yönetmelik, 3 Aralık 2010 tarihinde yürürlüğe girmiş olup, lisans alma ve şirket kurma zorunluluğundan muaf tutulan mikro kojenerasyon tesisleri ile 500 kW'a kadar kurulu güce sahip yenilenebilir enerji kaynaklı üretim tesislerinin tabi olduğu usulleri düzenlemiştir. Yönetmelik, bu tesislerde üretilen ve sisteme verilen ihtiyaç fazlası elektriğin, Türkiye ortalama elektrik toptan satış fiyatı üzerinden satın alınmasını öngörmektedir. Ayrıca, üretim tesisi ile tüketim tesisinin aynı dağıtım bölgesinde yer alması esası getirilmiştir [34].

2011 yılında uygulamaya giren Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması (YEKDEM), yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretimini teşvik eden bir tarife sistemi ile I Sayılı Cetvel'de belirtilen fiyatlar üzerinden satın alma garantisi sağlamıştır (Çizelge 4.1.) [35]. Ayrıca, bu tesislerde yerli üretim ürün kullanımı halinde, belirtilen kWh fiyatlarına ek olarak II Sayılı Cetvel'deki teşviklerden faydalandırılacaktır (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.1. I Sayılı Cetvel, YEKDEM kaynak türüne göre teşvik fiyatları

| **(Değişik:25/11/2020-7257/22 md.)**<br>**I Sayılı Cetvel** | |
|---|---|
| Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi | Uygulanacak Fiyatlar |
| a. Hidroelektrik üretim tesisi | 7,3 (ABD Doları cent/kWh) |
| b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi | 7,3 (ABD Doları cent/kWh) |
| c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi | 10,5 (ABD Doları cent/kWh) |
| ç. Biyokütleye dayalı üretim tesisi (çöp gazı dâhil) | 13,3 (ABD Doları cent/kWh) |
| d. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi | 13,3 (ABD Doları cent/kWh) |

Çizelge 4.2. II sayılı cetvel, YEKDEM yerli üretim ürün kullanımında verilen teşvik fiyatları

| **II Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)** | | |
|---|---|---|
| Tesis Tipi | Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat | Yerli Katkı Fiyatları[13] (ABD Doları cent/kWh) |
| A- Hidrolelektrik üretim tesisi | 1- Türbin | 1,3 |
| | 2- Jeneratör ve güç elektroniği | 1,0 |
| B- Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi | 1- Kanat | 0,8 |
| | 2- Jeneratör ve güç elektroniği | 1,0 |
| | 3- Türbin kulesi | 0,6 |
| | 4- Rotor ve nasel gruplarındaki mekanik aksamın tamamı (Kanat grubu ile jeneratör ve güç elektroniği için yapılan ödemeler hariç.) | 1,3 |
| C- Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi | 1- PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı | 0,8 |
| | 2- PV modülleri | 1,3 |
| | 3- PV modülünü oluşturan hücreler | 3,5 |
| | 4- İnvertör | 0,6 |
| | 5- PV modülü üzerine güneş ışınını odaklayan malzeme | 0,5 |
| D- Yoğunlaştırılmış güneş enerjisine dayalı üretim tesisi | 1- Radyasyon toplama tüpü | 2,4 |
| | 2- Yansıtıcı yüzey levhası | 0,6 |
| | 3- Güneş takip sistemi | 0,6 |
| | 4- Isı enerjisi depolama sisteminin mekanik aksamı | 1,3 |
| | 5- Kulede güneş ışınını toplayarak buhar üretim sisteminin mekanik aksamı | 2,4 |
| | 6- Stirling motoru | 1,3 |
| | 7- Panel entegrasyonu ve güneş paneli yapısal mekaniği | 0,6 |
| E- Biyokütle enerjisine dayalı üretim tesisi | 1- Akışkan yataklı buhar kazanı | 0,8 |
| | 2- Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı | 0,4 |
| | 3- Gazlaştırma ve gaz temizleme grubu | 0,6 |
| | 4- Buhar veya gaz türbini | 2,0 |
| | 5- İçten yanmalı motor veya stirling motoru | 0,9 |
| | 6- Jeneratör ve güç elektroniği | 0,5 |
| | 7- Kojenerasyon sistemi | 0,4 |
| F- Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi | 1- Buhar veya gaz türbini | 1,3 |
| | 2- Jeneratör ve güç elektroniği | 0,7 |
| | 3- Buhar enjektörü veya vakum kompresörü | 0,7 |

Buna göre, kendi elektrik ihtiyacını karşılamak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üreten lisanssız tesisler, ihtiyaçlarının üzerinde ürettikleri elektriği şebekeye verdiklerinde, YEKDEM tarifesinden on yıl boyunca yararlanabilirler. Bu sürenin sonunda ise ihtiyaç fazlası elektrik enerjisinin elektrik piyasasında oluşan piyasa takas fiyatları üzerinden satılabileceği belirtilmiştir. Söz konusu kanunun uygulanmasına ilişkin usuller, 21 Temmuz 2011 tarihinde yayımlanan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik'le belirlenmiştir. Ayrıca, bu yönetmelikte "tüketim birleştirme sistemi" getirilmiş olup, birden fazla gerçek veya tüzel kişinin uhdelerinde bulunan tesislerde tükettikleri elektrik enerjisini birleştirerek (tüketimleri birleştirilecek tesislerin aboneliklerinin unvan, vergi kimlik numaraları ve abone gruplarının aynı olması koşulu ile) bu yönetmelik kapsamında üretim tesisleri kurabileceği hükmü eklenmiştir [36].

02 Ekim 2013 tarihinde Yönetmeliğin kapsamı genişletilerek yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesislerinin en fazla kurabileceği kurulu güç üst sınır koşulu 1 MW'a çıkarılmıştır. Yine bakanlar kurulu kararıyla kurulu güç üst sınır koşulunun 5 MW'a kadar arttırılabilmesi yönünde kanun düzenlenmiştir [37].

10 Mayıs 2019 tarihinde alınan karar doğrultusunda, üretilen ihtiyaç fazlası enerji için EPDK tarafından belirlenen ve tüketicinin kendi abone grubuna ait perakende tek zamanlı aktif enerji bedelinin uygulanacağı açıklanmıştır (Çizelge 4.3.) [38].

Çizelge 4.3. 10 Mayıs 2019 tarihinden sonra alınacak çağrı mektupları için uygulanacak tarife

| | |
|---|---|
| e. 10/5/2019 tarihinden itibaren bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu almaya hak kazanılan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı lisanssız elektrik üretim faaliyeti kapsamındaki tesisler | EPDK tarafından TL kuruş/kWh olarak ilan edilen kendi abone grubuna ait perakende tek zamanlı aktif enerji bedeli |

12 Mayıs 2019 tarihinde yayımlanan Resmi Gazete'de, mevcut Yönetmelikte değişiklik yapılarak, 5.1.c maddesi kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak kurulacak üretim tesislerinin, ilişkilendirildiği tüketim tesisinin bağlantı anlaşma gücünü aşamayacağı hükmü eklenmiştir. Ayrıca, bu yönetmelikten sonra kurulan yenilenebilir

enerji kaynaklı lisanssız üretim tesisleri için saatlik mahsuplaşma yerine aylık mahsuplaşma uygulamasına geçilmiş ve sektörde büyük yankı uyandırmıştır.

9 Mayıs 2021 tarihinde yönetmeliğe eklenen 5.1.h maddesi ile yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisleri için kurulu güç üst sınırı, bağlantı anlaşmasındaki sözleşme gücü ile sınırlı kalmak kaydıyla kaldırılmıştır [39].

11 Ağustos 2022 tarihinde yayımlanan yönetmelikte, bu çalışmanın da konusu olan ihtiyaç fazlası elektriğin satışına yönelik kısıtlamalar getirilmiştir [40]. Bu yeni düzenlemeler, kamuoyunda ve ilgili çevrelerde geniş çaplı tartışmalara yol açmış; çeşitli olumlu ve olumsuz değerlendirmelere neden olmuştur. Düzenlemelerin en dikkat çeken maddesi ise şu şekildedir: "12 Mayıs 2019 tarihinden sonra yapılan başvurular neticesinde bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu almaya hak kazanan kişilerin, ihtiyaç fazlası olarak satışa konu edilebilecek üretim miktarı, ilişkili tüketim tesisinin toplam elektrik tüketimini aşamaz. Bu sınırın üzerindeki enerji, YEKDEM'e bedelsiz katkı olarak değerlendirilir" ifadesi yer almıştır [41].

Buna göre, tesislerin cari yıl içindeki ihtiyaç fazlası elektrik üretim satış miktarı, bir önceki yılda gerçekleşen toplam tüketim ve içinde bulunulan cari yıldaki toplam tüketim ile sınırlandırılmıştır. Ancak, kabulün yapıldığı yılın (cari yıl) tüketim miktarının bir önceki yılın hesaplanan veya mevcut tüketimini aşması durumunda, işlemler cari yıla ait tüketim miktarları üzerinden yürütülecektir. Ayrıca, 5.1.h maddesi kapsamında belediyelere, sanayi tesislerine ve tarımsal sulama amaçlı tesislere, bağlantı anlaşmasındaki sözleşme gücünün iki katına kadar lisanssız üretim tesisi kurma imkânı tanınmıştır.

Yine bu kapsamdaki tesisler için, 22 Haziran 2023 tarihinde yayımlanan “Farklı Dağıtım ya da Görevli Tedarik Şirketi Bölgesinde Yer Alan Üretim ve Tüketim Tesislerinin Mahsuplaşma İşlemlerine İlişkin Usul ve Esaslar” ile, üretim tesislerinin tüketim tesisleri ile aynı dağıtım bölgesinde bulunma zorunluluğu da kaldırılmıştır [41]. Böylelikle, mevcut bir tüketim tesisinin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla, ülkenin herhangi bir bölgesinde üretim tesisi kurulması mümkün hale getirilmiş, bu sayede 5.1.h maddesi kapsamında üretim faaliyeti gösteren kişilere kolaylık tanınmıştır.

### 4.1.1. Lisanssız elektrik üretiminde ihtiyaç fazlası enerjinin tespiti ve satışı

11 Ağustos 2022 tarihinde Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'nde yapılan düzenleme ile ihtiyaç fazlası olarak üretilen elektriğin şebekeye satışına belirli kısıtlamalar getirilmiştir. Bu düzenlemeye göre, üretilen ve satışa sunulabilecek elektrik miktarları tüketim düzeyine bağlanmış olup, mahsuplaşma sonrası satışa konu edilebilecek miktarın belirlenmesinde iki farklı durum dikkate alınmaktadır. Cari yıl içerisinde yapılabilecek satış miktarı, bir önceki cari yılda tüketilen toplam elektrik miktarı kadar sınırlandırılmıştır. Ancak mevcut yılın tüketimi, bir önceki yılı aşarsa, bu fark da satış limitine eklenmektedir. Üretim tesisinde üretilip şebekeye verilen ihtiyaç fazlası elektrik, bu sınırları aşarsa, aşan miktarın şebekeye bedelsiz olarak (YEKDEM'e bedelsiz katkı) aktarılacağı hükmüne bağlanmıştır [43]. Yapılan bu uygulamanın temeli EPDK'nın 27 Haziran 2019 tarihli duyurusunda şu şekilde atılmıştır: " ..lisanssız üretimin esasen tüketime özgüleşmiş üretim haline gelmesi amaçlanmaktadır.." Bu ifadeyle birlikte, lisanssız elektrik üretiminin amacına yeni bir bakış açısı getirilmiş ve kurulacak olan üretim tesislerinin öz tüketimi karşılama amacıyla kurulması gerektiği; düşük tüketime karşılık yüksek ihtiyaç fazlası enerji satışı amacının ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. Aşağıdaki iki senaryodan Çizelge 4.4'de, 2022 yılında 23 850 kWh ve 2023 yılında 25 140 kWh yıllık toplam elektrik tüketimi gerçekleştirilmiş olduğu görülmektedir. 2023 yılında üretim ve tüketimin aylık mahsuplaşması sonucunda oluşan ihtiyaç fazlası toplam 16 485 kWh elektrik, kısıtlama limitinin altında kaldığı için tamamı satışa konu olmuştur.

Çizelge 4.4. Satışa konu edilebilecek enerji hesabı – Senaryo 1

| AYLAR | O | Ş | M | N | M | H | T | A | E | E | K | A | TOPLAM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tüketim (kWh) 2022 | 75 | 75 | 150 | 90 | 2 250 | 3 000 | 6 000 | 7 500 | 4 500 | 75 | 75 | 60 | 23 850 |
| Tüketim (kWh) 2023 | 90 | 150 | 300 | 300 | 1 800 | 6 750 | 6 000 | 8 400 | 900 | 150 | 150 | 150 | 25 140 |
| Üretim 2023 (kWh) | 2 250 | 2 175 | 2 400 | 4 050 | 4 650 | 5 100 | 5 175 | 5250 | 450 | 450 | 3 150 | 450 | 35 550 |
| Mahsuplaşılmış Üretim/Tüketim (kWh) 2023 | 2 160 | 2 025 | 2 100 | 3 750 | 2 850 | -1 650 | -825 | -3 150 | -450 | 300 | 3 000 | 300 | - |
| Satış (kWh) 2023 | 2 160 | 2 025 | 2 100 | 3 750 | 2 850 | 0 | 0 | 0 | 0 | 300 | 3 000 | 300 | 16 485 |
| Tüketim Fatura (kWh) 2023 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1650 | 825 | 3150 | 450 | 0 | 0 | 0 | 3 375 |
| Bedelsiz Katkı (kWh) 2023 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Çizelge 4.5.'de verilen ikinci senaryoda, 2023 Temmuz ayında satılabilecek elektrik miktarı bir önceki cari yıl tüketimi olan 19 350 kWh'a ulaştığı için ilgili ay 4 725 kWh olarak gerçekleşen ihtiyaç fazlası enerjinin yalnızca 1 965 kWh'ı satılabilmiş, kalan 2 760 kWh elektrik bedelsiz olarak şebekeye verilmiştir. Eylül ayında ihtiyaç fazlası olan 750 kWh elektriğin tamamı, içinde bulunulan cari yılın toplam tüketimi henüz bir önceki yılın toplam tüketim miktarını geçemediğinden dolayı bedelsiz olarak şebekeye aktarılmıştır. Ekim dönemi sonu itibariyle, 2023 yılı toplam elektrik tüketimi 19 590 kWh'a ulaşmış ve geçen senenin 240 kWh üzerine çıkmıştır. Bu durumda Ekim döneminde oluşan ihtiyaç fazlası 1 500 kWh elektriğin 240 kWh'ı satışa konu olmuştur. Aralık dönem sonu itibariyle ise, içinde bulunulan cari yılın toplam tüketim miktarı 20 415 kWh'a ulaşmış ve 900 kWh fazla üretimin 825 kWh'ı satışa konu edilmiştir.

Çizelge 4.5. Satışa konu edilebilecek enerji hesabı – Senaryo 2

| AYLAR | O | Ş | M | N | M | H | T | A | E | E | K | A | Toplam |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tüketim (kWh) 2022 | 75 | 75 | 150 | 90 | 2 250 | 3 000 | 6 000 | 6 000 | 1 500 | 75 | 75 | 60 | 19 350 |
| Tüketim (kWh) 2023 | 90 | 150 | 300 | 300 | 1 800 | 600 | 450 | 6 900 | 7 500 | 1 500 | 750 | 75 | 20 415 |
| Üretim 2023 (kWh) | 2 250 | 2 175 | 2 400 | 4 050 | 4 650 | 5 100 | 5 175 | 5250 | 8 250 | 3 000 | 150 | 975 | 43 425 |
| Mahsuplaşılmış Üretim/Tüketim (kWh) 2023 | 2 160 | 2 025 | 2 100 | 3 750 | 2 850 | 4 500 | 4725 | -1 650 | 750 | 1 500 | -600 | 900 | 0 |
| Satış (kWh) 2023 | 2 160 | 2 025 | 2 100 | 3 750 | 2 850 | 4 500 | 1 965 | 0 | 0 | 240 | 0 | 825 | 20 415 |
| Tüketim Fatura (kWh) 2023 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 650 | 0 | 0 | 600 | 0 | 2 250 |
| Bedelsiz Katkı (kWh) 2023 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 760 | 0 | 750 | 1 260 | 0 | 75 | 4 845 |

Satışa konu edilebilecek miktarlar ham tüketim miktarlarıyla doğrudan ilişkilidir. Ham tüketim miktarı belirlenirken brüt üretim sayacına bakılması, gerçek tüketim hakkında bilgi verir. Üretim ve tüketim aynı yerde olan bir üretim tesisinde örneğin güneş ışınımın fazla ve dolayısıyla üretimin fazla olduğu 12-13 saatleri arasında net 100 kWh üretim, net 70 kWh tüketim olduğu durumda brüt sayaç incelemesinden sonra brüt üretimin 120 kWh, brüt tüketimin ise 90 kWh olduğu gözlemlenebilmektedir. Dağıtım şirketi tarafından aylık uzlaştırmaya esas satış kotası hesaplanırken bir ay boyunca gerçekleşen brüt tüketim dikkate alınmaktadır.

### 4.1.2. Mahsuplaşma ve mahsup yöntemleri

Lisanssız elektrik üretim santralleri, Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'nin 26' ncı maddesinin 4üncü fıkrasında belirtilen: "Birinci fıkrada belirtilen koşulları sağlayarak 5 inci maddenin birinci fıkrasının (c), (f), (g), (ğ), (h), (ı) ve (i) bentleri ile 11 inci maddenin birinci, ikinci ve üçüncü fıkraları kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı olarak gerçek veya tüzel kişiler tarafından kurulan ve işletilen üretim tesislerinde aylık mahsuplaşma sonucunda her fatura döneminde şebekeye verilen ihtiyaç fazlası elektrik enerjisi görevli tedarik şirketi tarafından, on yıl süreyle satın alınır." [44]. Bu bağlamda, lisanssız elektrik üretim santralleri çağrı mektubu tebliğ tarihine bağlı olarak aylık veya saatlik mahsuplaşma sistemine dâhil edilmektedir. Yine aynı Yönetmeliğin 26 ncı Maddesinin 3.fıkrasında geçen: "İlgili şebeke işletmecileri; kendi şebekelerindeki bu madde kapsamındaki lisanssız üreticilere ilişkin toplam üretim ve toplam tüketim miktarını abone grupları ve kaynak bazında ayrı ayrı toplam değerler olarak piyasa işletmecisine Piyasa Yönetim Sistemi vasıtası ile her ay saatlik bazda, uzlaştırma işlemlerini düzenleyen ilgili mevzuat hükümlerinde uzlaştırmaya esas veriş-çekiş birimi konfigürasyonlarında yer alan sayaçların değerlerinin bildirilmesine ilişkin düzenlenmiş takvime uygun olarak bildirir." Hükmü gereğince ilgili şebeke işletmecisi, santrallerin üretim ve tüketim değerlerini santral saatlik mahsuplaşma kapsamında ise net değer üzerinden, aylık mahsuplaşma kapsamında ise brüt değerler üzerinden bildirmekle yükümlüdür.

Mahsuplaşma işlemi üretim değerinin tüketim değerinden düşülmesidir. Fakat üreticiler dağıtım bedelinden muaf olmazlar çünkü mahsuplaşma sadece aktif enerji bedeli üzerinden yapılmaktadır. Örnek olarak, 100 birim üretim ve 75 birim tüketim olan bir santralde, 75 birim tüketim değerinin sadece aktif enerji bedeli alınmaz. 75 birime karşılık gelen dağıtım bedeli üreticiye fatura edilir. Üreticiye fatura edilen dağıtım bedeli, üretim ve tüketimin aynı yerde ya da farklı yerde olmasına göre ve tarife grubuna göre değişmektedir. Ek olarak, ülkemizde kurulan tüm lisanssız elektrik üretim santrallerinde enerji kaynağı türünden bağımsız olarak mahsuplaşma işlemi gerçekleştirilmektedir.

Mahsuplaşma hesabı, mahsup türünden bağımsız olarak aylık fatura dönemlerinde her ayın ilk 10 gününde yapılmaktadır. İhtiyaç fazlası üretim değerine karşılık gelen miktar var ise bu tutar ilgili Görevli Tedarik Şirketi (GTŞ) tarafından, hesap yapılan dönemden 1 ay

sonrasının 5. gününde üreticiye ödenir. Örneğin, Haziran 2024 dönemine ait mahsup hesabı Temmuz ayında yapılır ve GTŞ üreticiye ihtiyaç fazlası üretimine karşılık gelen miktarı Ağustos ayının 5. gününde öder.

Saatlik mahsuplaşma

12 Mayıs 2019 tarihi öncesinde çağrı mektubu almış olan üreticiler, saatlik mahsuplaşma türü kapsamında değerlendirilmektedir. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'nin 5. maddesinin 1. fıkrasının (c) bendine göre kurulan bu tesislerde, ihtiyaç fazlası enerji bulunması durumunda, söz konusu fazla enerji miktarı saatlik dolar kuru üzerinden gelir elde etme imkanı sunmaktadır. Saatlik mahsuplaşmanın mantığı ise, 1 saat içindeki brüt üretimin brüt tüketime kıyaslanarak net üretim veya net tüketimin bulunmasıdır. Çizelge 4.6.'da saatlik mahsuplaşma örneği bulunmaktadır.

Çizelge 4.6. Saatlik mahsuplaşma örneği

| Saat | Veriş | Çekiş | Net Üretim/Tüketim |
|---|---|---|---|
| 11-12 | 600 | 530 | 70 |
| 12-13 | 740 | 830 | -90 |
| 13-14 | 870 | 1 050 | -180 |
| 14-15 | 700 | 320 | 380 |
| 15-16 | 550 | 610 | -60 |
| TOPLAM | 3 460 | 3 340 | 120 |

Çizelge 4.6.'ya göre, 11:00 ve 12:00 saatleri arasında üretim 600 kWh, tüketim ise 530 kWh olarak gerçekleşmiş, üretim değeri büyük olduğu için tüketim değerinin tamamı mahsuplaşmış ve net üretim 70 kWh olmuştur. Net üretim değeri üzerinden üreticiye ilgili gündeki 11:00 ve 12:00 saatleri arasındaki ortalama dolar kuru üzerinden dolar bazında ödeme yapılacaktır. 12:00 ve 13:00 saatleri arasında ise, net tüketim 90 kWh olarak gerçekleşmiştir. Üreticinin bu saat diliminde ihtiyaç fazlası üretim değeri olmadığından dolayı herhangi bir ödeme alamayacak ve ilgili GTŞ tarafından 90 kWh'lık tüketim değeri üreticiye fatura edilecektir.

Aylık mahsuplaşma

12 Mayıs 2019 tarihi sonrasında çağrı mektubu almış olan tüm üreticiler, aylık mahsuplaşma türü kapsamında değerlendirilmektedir. Aylık mahsuplaşma, bir aylık periyot boyunca toplam üretilen miktar ve ve tüketilen miktar üzerinden hesaplanır. Örneğin, bir ay boyunca toplam üretilen enerji miktarı 1 000 kWh, toplam tüketim miktarı 700 kWh ise; tüketilen 700 kWh enerji mahsuplaşır ve santralin ihtiyaç fazlası enerjisi 300 kWh olarak gerçekleşir. Tam tersi durumda ise (üretimin tüketimi karşılamadığı durumda), üretilen enerjinin tamamı mahsuplaşır ve GTŞ tarafından mahsuplaşamayan enerji miktarı kadar tüketim faturası düzenlenir. Aylık mahsuplaşma türü kapsamında kurulan santrallerde oluşan ihtiyaç fazlası enerjinin ödemesi Türk lirası (TL) üzerinden gerçekleştirilmektedir. Çizelge 4.7.'de, aylık mahsuplaşma örneği verilmiştir.

Çizelge 4.7. Aylık mahsuplaşma örneği

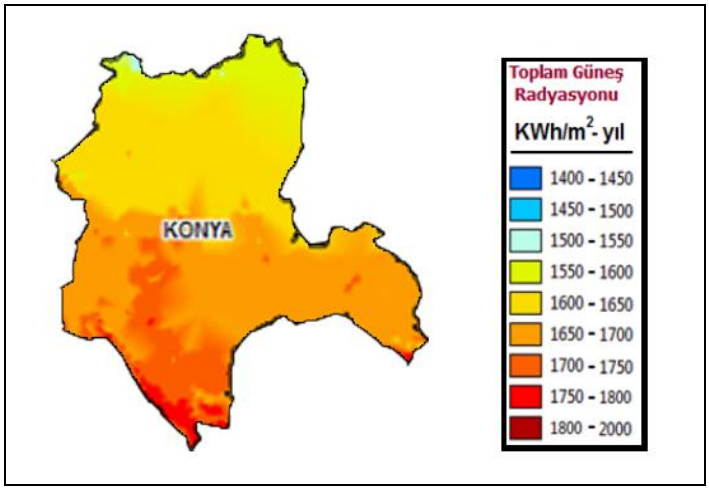
| Saat/Gün | Ekim | 29 | 30 | 31 | Toplam |
|---|---|---|---|---|---|
| 19-20 | Veriş | 20,96 | 22,68 | 52,92 | 1 648,08 |
| | Çekiş | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 26,78 |
| 20-21 | Veriş | 0,00 | 3,78 | 3,78 | 45,36 |
| | Çekiş | 7,57 | 7,57 | 3,79 | 246,02 |
| 21-22 | Veriş | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Çekiş | 15,13 | 11,35 | 11,35 | 310,28 |
| 22-23 | Veriş | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3,78 |
| | Çekiş | 11,35 | 11,35 | 11,35 | 298,94 |
| 23-24 | Veriş | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | Çekiş | 11,35 | 7,57 | 7,57 | 268,70 |
| Toplam | Veriş | 551,12 | 666,6 | 159,7 | 7 572,12 |
| | Çekiş | 109,87 | 109,87 | 98,53 | 3 711,96 |

Çizelge 4.7.'deki örnekte, santralin Ekim döneminin son 3 gününün son saatlerine ait veriş-çekiş değerleri mevcuttur. Toplam sütununda ise, Ekim döneminin ilgi saatlerdeki toplam veriş-çekiş değerleri bulunmaktadır. Ekim döneminde toplam 7 572,12 kWh üretim, 3 711,96 kWh tüketim gerçekleşmiştir. Bu durumda, tüketimin tamamı mahsuplaşacak ve dağıtım şirketine tüketim değerine karşılık gelen dağıtım bedeli ödenecek, kalan 3 860,16 kWh'lık üretim miktarı için yine dağıtım şirketine SKF

ödenecek ve üretici, 3 860,16 kWh'lık ihtiyaç fazlası enerjisi için GTŞ'den ödeme alacaktır.

### 4.2. Güneş Enerji Santrali'nin Teknik Özellikleri

Santral, Konya ili Sarayönü ilçesinde sınırlarında bir arazide bulunmaktadır. Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası incelendiğinde, Konya ilindeki 1 m2 alanın yıllık ışınım miktarı 1 650 – 1 950 kWh/m2-yıl değerleri arasında olduğu görülmektedir ve bu değer oldukça yüksektir. Meteoroloji Genel Müdürlüğünün 1929-2023 yılları arasında yaptığı ölçümlere göre yıllık ortalama sıcaklık değeri 11,7 °C'dir. Görülen en yüksek sıcaklık Temmuz ayında ölçülen 40,9 °C, görülen en düşük sıcaklık Ocak ayında ölçülen -28,2 °C dir. Yıllık ortalama güneşlenme süresi 7,4 saattir. Güneşlenme süresinin en yüksek olduğu dönem, günlük ortalama 11,8 saat ile Temmuz ayına aittir. En düşük olduğu dönem ise günlük ortalama 3,2 saat ile Aralık ayına aittir [42]. Bölgede karasal iklim özellikleri görülür. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve yağışlı geçer. Karasal iklim sebebiyle gündüz ile gece saatleri arasındaki sıcaklık farkı yüksektir. Yıllık toplam yağış miktarı ortalaması 329,7 mm'dir. Bölge yaklaşık 1 068 m rakıma sahiptir. 3. derece deprem bölgesi olan bölgede uzun zamandır yüksek şiddette deprem görülmemiştir. Harita 4.1.'de, Konya ili güneş potansiyeli atlası bulunmaktadır.




Harita 4.1. Konya ili güneş potansiyeli atlası

Santralin toplam kurulu gücü ve panel gücü 1 015 kWp (DC), anlaşma gücü 1 000 kW (AC)'tır. Santral şebeke bağlantılıdır (on grid). Santralin çağrı mektubu Lisanssız Elektrik

Üretim Yönetmeliği'nin 5.maddesi 1.fıkrasının (c) bendi kapsamında 19.03.2012 tarihinde alınmış ve santral 01.09.2013 tarihinde devreye alınarak dağıtım şebekesine elektrik vermeye başlamıştır. Santral, çağrı mektubu ve devreye giriş tarihi itibariyle Türkiye'nin ilk lisanssız santralleri arasındadır. Resim 4.1.'de, santral sahasının iki farklı açıdan genel görünümü bulunmaktadır.



Resim 4.1. Santral sahasının iki farklı açıdan görünümü

Resim 4.2.'de, santralin gizliliğini korumak amacıyla bir kısmının uydu görüntüsü gösterilmiştir. Santralin toplam yüzey alanı 2 828.40 $m^2$ olarak hesaplanmıştır.

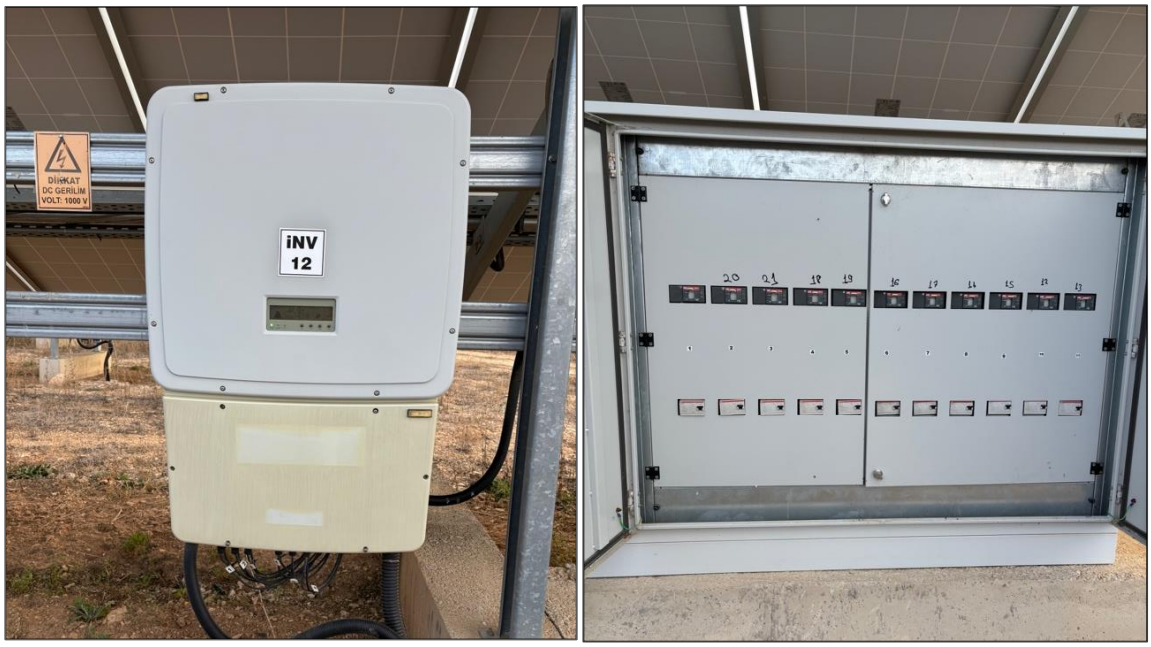


Resim 4.2. Santrale ait uydu görüntüsü

Santralde:

- Her biri 235 Wp gücünde, %16,4 verime sahip, Kuzeydoğu-Güneybatı yönünde 25˚ derecelik eğimle yerleştirilmiş 4 320 tane polikristal güneş paneli,
- 9 tane 100 kW, 2 tane 40 kW ve 1 tane de 20 kW gücünde toplam 12 adet 1000 kW gücünde evirici,
- 21 adet birleştirici kutu,
- 1 adet 36 KV trafo merkezi

bulunmaktadır. Resim 4.3.'te santralde kullanılan evirici ve birleştirici kutu, Resim 4.4'te ise trafonun iç ve dış görüntüsü bulunmaktadır.




Resim 4.3. Evirici ve birleştirici kutu



Resim 4.4. Trafonun içi ve dışı

### 4.3. Ekonomik Analiz

Güneş enerji santralleri için yapılan ekonomik analizler, yatırım yapılabilirlik değerlendirmelerinde önemli bir işlev üstlenir ve projenin tüm maliyetleri ile enerji üretiminden beklenen gelir tahminlerini kapsar. Tahmin yapılmadan kurulan santraller her zaman beklenen kazancı getirmeyebilir ve hatta ekonomik olarak zarar edebilir. Bu değerlendirmede, başlangıç yatırım maliyetleri genellikle güneş panelleri, eviriciler, montaj ekipmanları, elektrik bağlantı sistemleri, arazi ve mühendislik maliyetlerini içermektedir. Öte yandan, işletme ve bakım maliyetleri günlük operasyonları ve düzenli bakım gerekliliklerini yansıtır [46]. Bu analiz, maliyetlerle gelirlerin karşılaştırılması yoluyla finansal performansın ölçülmesini sağlar ve projenin ekonomik sürdürülebilirliği hakkında fikir verir [47]. Ekonomik analizde yatırım getirisi (ROI), net bugünkü değer (NBD), iç kârlılık oranı (IRR) ve geri ödeme süresi gibi finansal göstergeler, projenin uzun vadeli getirilerini değerlendirmek için kullanılır.

#### 4.3.1. Net bugünkü değer (NBD)

Güneş enerjisi santrallerinin net bugünkü değeri (NBD), proje süresince beklenen gelirlerin bugünkü değeri ile kurulum ve işletme maliyetlerinin bugünkü değeri arasındaki fark olarak hesaplanır (4.1) [48]. Ancak, yatırımın kârlı olabilmesi için sonucun sıfırdan büyük olması gerekir.

$$NBD = \sum_{t=1}^{n} \frac{R_t}{(1+r)^t} \quad (4.1)$$

$R_t$: t yılı için nakit akışı
$r$: İndirim oranı
$n$: Proje ömrü

### 4.3.2. İç kârlılık oranı (İKO)

İç kârlılık oranı yıllardır ekonomistler ve mühendisler tarafından projelerin karlılığını tahmin etmek için kullanılmaktadır [49]. İç kârlılık oranı, bir yatırımın beklenen getirisini ve karlılığını değerlendirmek için kullanılan ve yatırım kararlarının alınmasına yardımcı olan önemli bir finansal ölçümdür. Yatırımlar arasında seçim yapılırken projelerin iç kârlılık oranları karşılaştırılarak karar verilmektedir. Daha yüksek iç kârlılık oranına sahip projeler genellikle daha kârlı kabul edilir [50]. İç kârlılık oranı sıfıra çok yakınsa yatırım kârlı sayılmaz ve yatırımcının tercihine bırakılır. Eğer iç kârlılık oranı sıfırın altında ise, yatırım kesinlikle kârlı değildir ve yapılmaması önerilir. Temel olarak yatırımın net bugünkü değerini sıfıra eşitleyen iskonto oranıdır (4.2) [51].

$$NBD = \sum_{t=1}^{n} \frac{R_t}{(1+IKO)^t} = 0 \quad (4.2)$$

$R_t$: t yılı için nakit akışı
$IKO$: İç kârlılık oranı
$n$: Proje ömrü
$NBD$: Net bugünkü değer

### 4.3.3. Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE)

Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti (Levelized Cost of Energy, LCOE), bir enerji üretim tesisinde üretilen elektriğin birim kWh başına enerji maliyetini ifade eden finansal bir metriktir ve bir enerji santralinin ekonomik olarak ne kadar verimli olduğunu değerlendirirken kullanılan temel ölçütlerden biridir. Özellikle farklı enerji üretim

yöntemlerini (güneş, rüzgar, doğal gaz vb.) karşılaştırmak için kullanılır. LCOE, bir tesisin toplam maliyetlerinin, tesisin ömrü boyunca üreteceği toplam enerjiye bölünmesiyle elde edilir. (4.3) Bu maliyetler; ilk yatırım, işletme ve bakım giderleri, yakıt maliyetleri (varsa) ve tesisin ekonomik ömrü boyunca karşılaşabileceği diğer tüm masrafları kapsar. Bu hesaplama, tesisin toplam yaşam döngüsü maliyetini enerji üretimi üzerinden "seviyeleyerek" ekonomik verimliliği kWh başına birim maliyet olarak ifade eder. Eğer birim LCOE mevcut enerji satın alım maliyetine göre düşükse, santral yatırımının karlı olduğu anlamına gelmektedir.

$$LCOE = \frac{\text{İ}lk\ yatırım\ maliyeti\ (\$) + \text{İ}şletme\ bakım\ maliyetleri\ (\$)}{Toplam\ \text{Ü}retilen\ Elektrik\ Enerjisi\ Miktarı\ (kWh)} \tag{4.3}$$

### 4.3.4. Geri ödeme süresi (GÖS)

Geri ödeme süresi bir yatırımın maliyetini ve o yatırımın getirisi veya kazancını karşılaştırmak için kullanılan bir finansal analiz yöntemidir. Geri ödeme süresi, bir yatırımın başlangıç maliyetini ne kadar sürede geri kazanabileceğini ölçer. Kısacası, yatırımın maliyeti ile elde edilen getiri arasındaki denge noktasını gösterir. Güneş enerjisi santrallerinde sıklıkla kullanılan bir metriktir [52]. Bir yatırımın geri ödeme süresi yıl olarak eşitlik (4.4)'ten hesaplanabilir.

$$G\text{Ö}S = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{\text{İ}YM + OM_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{F_t}{(1+r)^t}} \tag{4.4}$$

$G\text{Ö}S$: Yatırımın geri ödeme süresi

$\text{İ}YM$: İlk yatırım maliyeti

$OM_t$: t yılındaki yıllık masraflar (işletme ve bakım giderleri gibi)

$F_t$: t yılında elde edilen faydalar

$r$: İskonto oranı

$t$: Yıl

$n$: Proje ömrü veya geri ödeme süresi sınırı

### 4.3.5. Fayda/masraf oranı

Fayda/Masraf oranı, bir yatırım veya projenin maliyetine kıyasla sağladığı faydaları değerlendiren bir finansal analiz metriğidir. Bu oran, projenin getirilerinin maliyetlerine oranlanmasıyla hesaplanır ve yatırımın finansal açıdan mantıklı olup olmadığını gösterir fakat fayda/masraf oranı tek başına kullanılmaz. Genel olarak net bugünkü değer (NBD) ve iç karlılık oranı (İKO) gibi diğer finansal analiz yöntemleriyle birlikte değerlendirilir ve bu sayede finansal açıdan daha değerli bir yorum ortaya koyar. Fayda/masraf oranı 1'den büyükse, faydalar maliyetlerden daha fazladır ve yatırım mantıklı olarak kabul edilir. Tam tersi durumda ise yatırımın ekonomik olarak mantıklı olmadığı ortaya konur. Fayda/masraf oranı eşitlik (4.5)'ten hesaplanabilir.

$$\frac{Fayda}{Masraf} = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}} \tag{4.5}$$

$F_t$: Projenin t yılındaki sağladığı faydalar (gelir, tasarruf vb.)
$C_t$: Projenin t yılındaki maliyetleri
$r$: İskonto oranı
$t$: Yıl
$n$: Projenin ömrü

### 4.3.6. Yatırım getirisi (ROI)

Yatırım getirisi (Return on Investment, ROI), bir yatırımın başlangıç maliyetine kıyasla ne kadar kâr sağladığını gösteren bir finansal metriktir. Bu oran, yatırımın verimliliğini değerlendirmekte ve farklı yatırımların kârlılıklarını karşılaştırmada kullanılır. ROI, özellikle finansal karar alma süreçlerinde yatırımın kârlılığını hızlı bir şekilde analiz etmek için tercih edilir. ROI'nin yüksek olması, yatırımın maliyetine kıyasla iyi bir getiri sağladığını göstermektedir ve yatırımın kârlı olduğu anlaşılır. Tam tersi durumda ise, yatırımın maliyetine göre düşük bir getiri sağladığını gösterir ve yatırımın kârlılığı sorgulanır. Hızlı hesaplanabilen bir metrik olduğu için çeşitli yatırım seçeneklerini karşılaştırmada oldukça fazla tercih edilen bir yöntemdir fakat yatırım kararı için tek

başına yeterli bir kriter değildir. Bir yatırımın yatırım getirisi Eşitlik (4.6)'dan hesaplanabilir.

$$ROI = \frac{Net\ kâr}{İlk\ yatırım\ maliyeti}\ x\ 100 \qquad (4.6)$$

# 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmaya, elektrik üretim santrallerinin geçmiş, günümüz ve gelecekteki yönetmeliklere göre maliyet ve amortisman sürelerinin incelenmesinde örnek olarak Konya ili Sarayönü ilçesinde bulunan şebekeye bağlı bir güneş enerji santrali konu olmuştur. Maksimum AC çıkış gücü 1 000 kW olan güneş enerji santrali 4 320 adet polikristal panelden oluşmaktadır. Önceki bölümde santrale ait detaylı teknik bilgiler verilmiştir.

Santralin çağrı mektubunun alınmasından itibaren kurulum sürecinde ve sonrasındaki tüm maliyetler ve devreye giriş anından günümüze kadar geçen süreçteki tüm üretim, tüketim ve mahsuplaşma verileri yatırımcıdan alınmıştır. Analizde kullanılmak üzere 877 adet veri temin edilmiştir. Bu bölümde, toplanan veriler ışığında santralin net bugünkü değeri, iç karlılık oranı, seviyelendirilmiş enerji maliyeti, geri ödeme süresi, fayda/masraf oranı ve yatırım getirisi hesaplanmıştır.

## 5.1. Üretim ve Tüketim Miktarlarının Değerlendirilmesi

Santral, 2013 yılı Eylül ayında devreye girmesinden bu yana, 2024 yılı Eylül ayı sonuna kadar geçen 11 yıllık dönemde net 21 648 477,82 kWh elektrik üretmiş, 166 201,26 kWh elektrik tüketmiştir. Bağlı tüketimindeki toplam tüketimi ise 51 426,23 kWh olarak gerçekleşmiştir. Bağlı tüketimdeki tüketim az olmasının sebebi, Mayıs 2019 öncesinde çağrı mektubu olan santrallerin saatlik mahsuplaşarak ihtiyaç fazlası enerjisinin bedelini 13,3 dolar/cent üzerinden alması ve kota kısıtlamasının olmamasından dolayıdır. Bu sebepten dolayı yatırımcı üretim miktarını en yüksek seviyede tutabilmek için bağlı tesisatının tüketimini az tutmayı hedeflemiştir.

Kalan 19 yıllık ekonomik ömürde üretebileceği elektrik miktarı çeşitli koşullara bağlı olmakla birlikte, tahminlerde belirli bir degradasyon oranı dikkate alınmıştır. Sistemdeki ekipmanlar, doğal aşınma, çevresel etkiler ve operasyonel koşullar nedeniyle yıpranacağından, yıllık üretim miktarında doğrusal bir azalma beklenmektedir. Bu üretim azalması degradasyon olarak adlandırılmakta olup, bu çalışmada yıllık %0,8 oranında öngörülmüştür. Fotovoltaik panellerdeki ısınma, uyumsuzluk ve iletim kayıpları gibi enerji

kayıpları, santral inşa sürecinde hesaplandığından ve kalan ekonomik ömür için üretim tahmini gerçek verilere dayanarak yapılacağından, bu çalışmada bu kayıpların yeniden hesaplanmasına gerek duyulmamıştır. Tüketim miktarları yıl bazında genel olarak çok fazla değişmediğinden dolayı, kalan 19 yılda her yıl için 11 yılın ortalaması alınmıştır. Çizelge 5.1.'de, santralin 30 yıllık ekonomik ömründe gerçekleşecek brüt üretim, tüketim miktarları, net üretim ve mahsuplaşma miktarları verilmiştir.

Çizelge 5.1. Üretim, tüketim ve mahsuplaşma miktarları

| Yıllar | Brüt Üretim | Santral İç Tüketim | Bağlı Tüketim | Mahsuplaşma Miktarı | Net Üretim |
|---|---|---|---|---|---|
| 2013 | 583 033,99 | 5 568,89 | 607,40 | 350,42 | 582 683,57 |
| 2014 | 1 889 570,71 | 14 631,05 | 4 695,80 | 2 709,12 | 1 886 861,60 |
| 2015 | 1 891 508,90 | 15 527,70 | 4 523,10 | 2 609,48 | 1 888 899,42 |
| 2016 | 2 034 913,34 | 14 603,24 | 5 378,90 | 3 103,21 | 2 031 810,13 |
| 2017 | 1 932 012,61 | 13 756,69 | 5 045,10 | 2 910,63 | 1 929 101,97 |
| 2018 | 1 871 000,35 | 14 601,85 | 4 962,80 | 2 863,15 | 1 868 137,20 |
| 2019 | 1 885 219,67 | 15 576,77 | 5 748,40 | 3 316,38 | 1 881 903,28 |
| 2020 | 1 948 448,17 | 15 512,19 | 4 210,90 | 2 429,37 | 1 946 018,80 |
| 2021 | 1 857 819,31 | 14 581,37 | 5 207,40 | 3 004,27 | 1 854 815,04 |
| 2022 | 1 994 571,91 | 14 816,04 | 5 105,10 | 2 945,25 | 1 991 626,66 |
| 2023 | 2 056 652,83 | 15 046,01 | 4 689,40 | 2 705,42 | 2 053 947,40 |
| 2024 | 1 980 950,47 | 14 778,23 | 5 007,70 | 2 889,06 | 1 978 061,41 |
| 2025 | 1 961 140,97 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 958 246,81 |
| 2026 | 1 941 529,56 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 938 635,40 |
| 2027 | 1 922 114,26 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 919 220,10 |
| 2028 | 1 902 893,12 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 899 998,96 |
| 2029 | 1 883 864,19 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 880 970,03 |
| 2030 | 1 865 025,55 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 862 131,39 |
| 2031 | 1 846 375,29 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 843 481,13 |
| 2032 | 1 827 911,54 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 825 017,38 |
| 2033 | 1 809 632,42 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 806 738,26 |
| 2034 | 1 791 536,10 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 788 641,94 |
| 2035 | 1 773 620,74 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 770 726,58 |
| 2036 | 1 755 884,53 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 752 990,37 |
| 2037 | 1 738 325,68 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 735 431,52 |
| 2038 | 1 720 942,43 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 718 048,27 |
| 2039 | 1 703 733,00 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 700 838,84 |
| 2040 | 1 686 695,67 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 683 801,51 |
| 2041 | 1 669 828,72 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 666 934,56 |
| 2042 | 1 653 130,43 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 650 236,27 |
| 2043 | 1 636 599,13 | 15 363,64 | 5 016,55 | 2 894,16 | 1 633 704,96 |
| TOPLAM | 56 016 485,59 | 460 909,13 | 150 496,36 | 86 824,83 | 55 929 660,77 |

## 5.2. Santral Gelir ve Gider Kalemleri

Santralin gider kalemlerini sistemin ilk yatırım maliyeti ve operasyonel giderler (bakım, onarım ve izleme) oluşturmaktadır. Santralin gelir kaynağı ise 30 yıllık proje ömrü boyunca üretilen ve mahsuplaşma sonrası kalan ihtiyaç fazlası enerjinin satışından elde edilen gelirlerdir. Santralin 30 yıllık ömrü sonundaki hurda değeri ilk maliyetin %10'u olarak alınmıştır.

### 5.2.1. İlk yatırım maliyeti

Güneş enerji santralinin maliyeti, proje sürecinde gerçekleştirilen tüm yatırım harcamalarının toplamını ifade etmektedir. Yatırımcının paylaştığı verilere göre, 2013 yılında kurulan santralin ilk yatırım maliyeti Çizelge 5.2.'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Santralin ilk yatırım maliyeti

| YATIRIM KALEMLERİ | BİRİM | BİRİM MALİYET (DOLAR) | TOPLAM FİYAT (DOLAR) |
|---|---|---|---|
| Güneş Paneli (235 W Polikristal) | 4320 adet | 175 | 756 000,00 |
| Konstrüksiyon | 1 set | 50 000 | 100 000,00 |
| İnvertör (100 kW) | 9 adet | 20 000 | 180 000,00 |
| İnvertör (40 kW) | 2 adet | 8 100 | 16 200,00 |
| İnvertör (20 kW) | 1 adet | 4 250 | 4 250,00 |
| AC Kablolar | 2 000 metre | 0,8 | 1 600,00 |
| 1 x 6 mm2 Solar Kablo | 20 000 metre | 0,7 | 14 000,00 |
| 36 kV Trafo | 1 adet | 30 000 | 30 000,00 |
| Pano ve Sarf Malzemeleri | 1 set | 15 000 | 15 000,00 |
| Mühendislik, Proje ve İzin Giderleri | - | - | 10 000,00 |
| Kurulum ve Nakliye Giderleri | - | - | 7 500,00 |
| Arazi | - | - | 45 000,00 |
| Beklenmeyen Giderler | - | - | 20 450,00 |
| TOPLAM | | | 1 200 000,00 |

Çizelge 5.2.'ye göre, santralin ilk yatırım maliyetinin 1 200 000 Dolar olduğu görülmektedir. Bu değer her ne kadar yüksek görünse de, 2013 yılında güneş enerji santrali kurulum maliyeti W başına 1,3 ila 1,8 dolar arasında idi ve panel ve invertörler ithal

ediliyordu. Nispeten yeni bir teknolojiydi ve ülkemizde güneş paneli üretimi ve montajına dair çalışmalar çok sınırlı bir seviyedeydi. Bu sebepten ötürü o yıllarda güneş enerji santrali kurulumu kısıtlı imkânlar ve yüksek maliyetler içerisinde yürütülmekteydi. Günümüzde, dünyada ve ülkemizde bu değer W başına 0,4 ila 0,8 dolar arasında seyretmektedir ve güneş enerji santrali kurmanın maliyeti 11 yılda yaklaşık olarak %38,8 düşmüştür. Çalışmanın devamında, Türk lirasındaki son 11 yıllık yüksek dalgalanmalar ve faiz oranlarının etkisi nedeniyle, tüm hesaplamalar dolar bazında ve Çizelge 5.3'te bulunan yıllık dolar faizi oranlarına göre yapılacaktır [45]. 2025 yılından itibaren yıllık dolar faizi %5 olarak alınmıştır. Bu sayede, Türk lirası cinsinden yapılacak hesaplamaların tam doğruluğa ulaşamaması riskinin ortadan kaldırılması hedeflenmiştir.

Çizelge 5.3. Yıllık dolar faizleri

| YILLAR | ORTALAMA DOLAR FAİZİ (%) |
|---|---|
| 2013 | 7 |
| 2014 | 7 |
| 2015 | 7 |
| 2016 | 7 |
| 2017 | 7 |
| 2018 | 8,71 |
| 2019 | 8 |
| 2020 | 4,6 |
| 2021 | 4 |
| 2022 | 9,6 |
| 2023 | 13,5 |
| 2024 | 9 |
| 2025 - 2043 | 5 |

### 5.2.2. Bakım - onarım, sigorta, uzaktan izleme ve beklenmeyen giderler

Yatırımın ekonomik ömrü boyunca her yıl çeşitli işletme giderleri oluşmaktadır. Yıllık bakım - onarım bedeli, sigorta bedeli, uzaktan izleme bedeli ve beklenmeyen giderlere ait giderler 4 kalemde incelenmiştir. İşletme giderleri sabit değildir ve her geçen yıl artış göstermektedir. Santralin devreye alınmasından sonraki 1.yıldan itibaren başlayan bu giderler için bir yüklenici firma ile anlaşılmış ve 29 yıl boyunca her yıl %6 artış oranı olacak şekilde sözleşme imzalanmıştır. İlk yılın sonundaki bakım-onarım, sigorta, uzaktan izleme ve beklenmeyen giderler Çizelge 5.4.'te, proje ömrü boyunca oluşacak işletme giderleri ise Çizelge 5.5.'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. İlk yıl sonunda bakım-onarım, sigorta, uzaktan izleme ve beklenmeyen giderler

| MASRAF KALEMİ | FİYAT (DOLAR/YIL) |
|---|---|
| Bakım-Onarım Giderleri | 1 000,00 |
| İşçilik-Beklenmeyen Giderler | 1 000,00 |
| Sigorta Bedeli | 750,00 |
| Uzaktan İzleme Giderleri | 750,00 |
| TOPLAM | 3 500,00 |

Çizelge 5.5. Proje ömrü boyunca işletme giderleri

| YILLAR | İŞLETME GİDERLERİ (DOLAR/YIL) |
|---|---|
| 2014 | 3 500,00 |
| 2015 | 3 710,00 |
| 2016 | 3 932,60 |
| 2017 | 4 168,56 |
| 2018 | 4 418,67 |
| 2019 | 4 683,79 |
| 2020 | 4 964,82 |
| 2021 | 5 262,71 |
| 2022 | 5 578,47 |
| 2023 | 5 913,18 |
| 2024 | 6 267,97 |
| 2025 | 6 644,04 |
| 2026 | 7 042,69 |
| 2027 | 7 465,25 |
| 2028 | 7 913,16 |
| 2029 | 8 387,95 |
| 2030 | 8 891,23 |
| 2031 | 9 424,70 |
| 2032 | 9 990,18 |
| 2033 | 10 589,59 |
| 2034 | 11 224,96 |
| 2035 | 11 898,46 |
| 2036 | 12 612,37 |
| 2037 | 13 369,11 |
| 2038 | 14 171,25 |
| 2039 | 15 021,53 |
| 2040 | 15 922,82 |
| 2041 | 16 878,19 |
| 2042 | 17 890,88 |
| 2043 | 18 964,33 |
| TOPLAM | 276 703,42 |

### 5.2.3. Yıllık sistem işletim bedeli

Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'nin 36. Madde 2.fıkra b) bendinde geçen: "İlgili şebeke işletmecisi ve görevli tedarik şirketlerinin bu Yönetmelik kapsamında fiilen üretim yapan kişiler için yürüttükleri iş ve işlemler karşılığında tahsil edebileceği yıllık işletim bedeli, işletmede olduğu yıla ilişkin yıllık işletim bedeli; üretim tesisinin işletmede olduğu ay sayısı dikkate alınarak, işletmede olduğu her takvim yılının Temmuz ve Aralık ayları son işgünü mesai bitimine kadar ilgili şebeke işletmecisi ve görevli tedarik şirketine ödenir." [53].

Hükmü gereği, üretim tesisinin dağıtım şirketine ve GTŞ'ye her yıl iki eşit taksitte ödemesi gereken sistem işletim bedeli vardır. 2025 yılı itibariyle kalan ekonomik ömürde ödenecek yıllık sistem işletme bedelinin her yıl %3 artacağı varsayılarak hesaplama yapılmıştır. Çizelge 5.6.'da, 2014 yılından itibaren ödenen yıllık sistem işletme bedelleri dağıtım şirketine ve görevli tedarik şirketine ödenen ve ödenecek bedeller gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. Proje ömrü boyunca yıllık sistem işletim bedelleri

| YILLAR | SİSTEM İŞLETİM BEDELİ (DOLAR/YIL) | YILLAR | SİSTEM İŞLETİM BEDELİ (DOLAR/YIL) |
|---|---|---|---|
| 2014 | 0 | 2029 | 587,69 |
| 2015 | 0 | 2030 | 605,32 |
| 2016 | 662,25 | 2031 | 623,48 |
| 2017 | 587,85 | 2032 | 642,19 |
| 2018 | 496,03 | 2033 | 661,45 |
| 2019 | 635,75 | 2034 | 681,3 |
| 2020 | 568,54 | 2035 | 701,74 |
| 2021 | 510,04 | 2036 | 722,79 |
| 2022 | 333,11 | 2037 | 744,47 |
| 2023 | 427,11 | 2038 | 766,81 |
| 2024 | 506,95 | 2039 | 789,81 |
| 2025 | 522,16 | 2040 | 813,5 |
| 2026 | 537,82 | 2041 | 837,91 |
| 2027 | 553,96 | 2042 | 863,05 |
| 2028 | 570,58 | 2043 | 888,94 |

### 5.2.4. Üretilen enerjinin satışı ve mahsuplaşmadan elde edilen getiri

Santralin ihtiyaç fazlası enerjisinin şebekeye satışı ve tüketim miktarıyla yapılan mahsuplaşma süreçleri, santral yatırımının ekonomik geri dönüş süresinin hesaplanmasında ve operasyonel maliyetlerin optimize edilmesinde temel bir rol oynamaktadır.

Üretilen ihtiyaç fazlası elektrik enerjisi, Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'nin 5. Maddesinin 1. Fıkrasının c) bendi kapsamında yerel şebeke işletmecisine satılmaktadır ve bu satıştan elde edilen gelir, EPDK'nın genel olarak her çeyrekte yayımladığı elektrik tarifelerine göre hesaplanmaktadır. Ayrıca, tüketim ile mahsuplaşma neticesinde tasarruf edilen elektrik enerjisinin birim maliyeti, yerleşkenin dahil olduğu ticarethane orta gerilim tek terimli tek zamanlı tarife grubuna ait tarifeler esas alınarak belirlenmiştir. İhtiyaç fazlası enerji miktarı, üretilen toplam enerji miktarından iç tüketimde kullanılan enerji çıkarılarak (Bkz.) Çizelge 5.1.'de net üretim olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.7.'de, proje ömrü boyunca oluşan ve oluşması beklenen gelir dağılımı analiz edilmiştir. 2025 yılından itibaren yıllık artış oranı, 2013 ve 2024 yılları arasında gerçekleşen artış oranlarının ortalaması alınarak hesaplanmış ve ihtiyaç fazlası enerji için ödenecek birim dağıtım bedelinin artış oranı %18,37, perakende şirketine ödenecek birim aktif bedel ve dağıtım bedelinin toplamının artış oranı da %18,39 olarak alınacaktır.

5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'un 6/A maddesinde 25 Kasım 2020 tarihinde yapılan değişiklikle birlikte, "Kendi tüketim ihtiyacını karşılamaya yönelik olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten lisanssız elektrik üretim faaliyetinde bulunan gerçek ve tüzel kişiler; ihtiyaçlarının üzerinde ürettikleri elektrik enerjisini iletim veya dağıtım sistemine vermeleri halinde I sayılı Cetveldeki fiyatlardan on yıl süre ile faydalanabilir." [54]. Hükmü gereği, santralin ihtiyaç fazlası enerji ödemesi, Ekim 2023 dönemi itibariyle TL üzerinden yapılacaktır. Bu sebeple, yapılan çalışma neticesinde, yine aynı yıllar arasında ihtiyaç fazlası enerji ödemesi TL üzerinden yapılsaydı da 2025 yılından itibaren alınacak TL oranının %18,39 olarak artacağı görülmüş ve hesaplamanın geri kalan kısmında ihtiyaç fazlası enerji ödemesi hesabında bu değer baz alınmıştır.

Çalışmada yapılan tüm hesaplamalar dolar bazında olduğundan dolayı dolar/tl artış oranı 2025 yılı itibariyle yıllık %5 olarak kabul edilecektir. Hesaplanan tüm bedellere Katma Değer Vergisi (KDV) dahildir. Yapılan analizlerin, üretilen enerjinin satışından ve mahsuplaşmadan elde edilen getirilerin ekonomik potansiyelini ortaya koyması hedeflenmiştir.

Çizelge 5.7. Proje ömrü boyunca oluşan ve oluşması beklenen gelir dağılımı

| Yıllar | Net Üretim | Net Tüketim | SKF Bedeli | İhtiyaç Fazlası Enerjiden Alınan Bedel | Tüketim Bedeli |
|---|---|---|---|---|---|
| 2013 | 582 683,57 | 256,98 | 4 664,01 | 91 446,36 | 47,96 |
| 2014 | 1 886 861,60 | 1 986,68 | 13 143,61 | 296 124,06 | 329,12 |
| 2015 | 1 888 899,42 | 1 913,62 | 10 580,99 | 296 443,88 | 278,16 |
| 2016 | 2 031 810,13 | 2 275,69 | 7 099,42 | 318 872,28 | 300,54 |
| 2017 | 1 929 101,97 | 2 134,47 | 15 034,75 | 302 753,26 | 233,26 |
| 2018 | 1 868 137,20 | 2 099,65 | 12 919,03 | 293 185,45 | 237,18 |
| 2019 | 1 881 903,28 | 2 432,02 | 14 773,96 | 295 345,90 | 338,31 |
| 2020 | 1 946 018,80 | 1 781,53 | 15 525,84 | 305 408,19 | 250,41 |
| 2021 | 1 854 815,04 | 2 203,13 | 13 567,19 | 291 094,67 | 322,29 |
| 2022 | 1 991 626,66 | 2 159,85 | 40 601,47 | 312 565,89 | 358,62 |
| 2023 | 2 053 947,40 | 1 983,98 | 72 180,65 | 252 578,95 | 270,89 |
| 2024 | 1 978 061,41 | 2 118,64 | 66 468,42 | 212 943,53 | 269,95 |
| 2025 | 1 958 246,81 | 2 122,38 | 95 414,18 | 237 693,79 | 340,30 |
| 2026 | 1 938 635,40 | 2 122,38 | 106 487,95 | 265 321,39 | 383,70 |
| 2027 | 1 919 220,10 | 2 122,38 | 118 846,94 | 296 160,15 | 432,63 |
| 2028 | 1 899 998,96 | 2 122,38 | 132 640,31 | 330 583,31 | 487,80 |
| 2029 | 1 880 970,03 | 2 122,38 | 148 034,55 | 369 007,47 | 550,01 |
| 2030 | 1 862 131,39 | 2 122,38 | 165 215,44 | 411 897,66 | 620,15 |
| 2031 | 1 843 481,13 | 2 122,38 | 184 390,34 | 459 772,96 | 699,23 |
| 2032 | 1 825 017,38 | 2 122,38 | 205 790,68 | 513 212,77 | 788,40 |
| 2033 | 1 806 738,26 | 2 122,38 | 229 674,75 | 572 863,84 | 888,94 |
| 2034 | 1 788 641,94 | 2 122,38 | 256 330,80 | 639 448,10 | 1 002,30 |
| 2035 | 1 770 726,58 | 2 122,38 | 286 080,55 | 713 771,36 | 1 130,12 |
| 2036 | 1 752 990,37 | 2 122,38 | 319 283,06 | 796 733,11 | 1 274,23 |
| 2037 | 1 735 431,52 | 2 122,38 | 356 339,05 | 889 337,37 | 1 436,73 |
| 2038 | 1 718 048,27 | 2 122,38 | 397 695,77 | 992 704,84 | 1 619,94 |
| 2039 | 1 700 838,84 | 2 122,38 | 443 852,34 | 1 108 086,51 | 1 826,52 |
| 2040 | 1 683 801,51 | 2 122,38 | 495 365,84 | 1 236 878,72 | 2 059,45 |
| 2041 | 1 666 934,56 | 2 122,38 | 552 858,00 | 1 380 640,13 | 2 322,08 |
| 2042 | 1 650 236,27 | 2 122,38 | 617 022,70 | 1 541 110,55 | 2 618,20 |
| 2043 | 1 633 704,96 | 2 122,38 | 688 634,35 | 1 720 231,97 | 2 952,08 |
| TOPLAM | 55 929 660,77 | 63 671,54 | 6 086 516,91$ | 17 744 218,43 $ | 26 669,49 $ |

## 5.3. Ekonomik Analiz Yöntemleri ile Santral Yatırımının Değerlendirilmesi

Bu başlık altında, santral yatırımının ekonomik verimliliği, finansal sürdürülebilirliği ve kârlılık potansiyeli; geri ödeme süresi, iç kârlılık oranı, fayda-maliyet oranı ve yatırım getirisi gibi yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Daha önce de ifade edildiği gibi tüm hesaplamalar dolar cinsinden yapılmıştır. Santral yatırımı, herhangi bir kredi veya finansman aracı kullanılmaksızın, tamamen öz kaynaklarla gerçekleştirilmiştir.

### 5.3.1. Yatırımın net bugünkü değer yöntemiyle incelenmesi

Bu başlıkta, Eş. 4.1 kullanılarak yatırımın gelir ve giderlerinin net bugünkü değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, Çizelge 5.3'te verilen yıllık dolar faiz oranları esas alınmıştır. Santral 2013 yılının Eylül ayında devre girmiştir. Tüm hesaplamalar, ilgili cari yılın gelir ve gider verileri esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.8'de, yatırım gelirlerinin net bugünkü değer yöntemiyle hesaplanması gösterilmiştir. Yatırım gelirleri; üretilen elektriğin satışından ve 30. yılda oluşacak hurda değerinden gerçekleşen gelirdir. Çizelge 5.9'da yatırım giderlerinin net bugünkü değer yöntemiyle hesaplanması gösterilmiştir. Yatırım giderleri; ilk yatırım maliyeti, işletme giderleri, yıllık sistem işletim bedeli, SKF bedeli ve tüketim bedelini içermektedir.

Çizelge 5.8. Yatırım gelirlerinin net bugünkü değer yöntemiyle hesaplanması

| Yıl | Faiz Oranı (%) | Bugünkü Değer Faktörü | Toplam Gelir ($) | NBD ($) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | - | 1,00 | 91 446,36 | 91 446,36 |
| 1 | 7 | 0,93 | 296 124,06 | 276 751,46 |
| 2 | 7 | 0,87 | 296 443,88 | 258 925,56 |
| 3 | 7 | 0,82 | 318 872,28 | 260 294,77 |
| 4 | 7 | 0,76 | 302 753,26 | 230 969,02 |
| 5 | 8,71 | 0,66 | 293 185,45 | 193 105,63 |
| 6 | 8 | 0,63 | 295 345,90 | 186 118,02 |
| 7 | 4,60 | 0,73 | 305 408,19 | 222 925,06 |
| 8 | 4 | 0,73 | 291 094,67 | 212 700,03 |
| 9 | 9,60 | 0,44 | 312 565,89 | 136 976,67 |
| 10 | 13,50 | 0,28 | 252 578,95 | 71 193,20 |
| 11 | 9 | 0,39 | 212 943,53 | 82 522,61 |
| 12 | 5 | 0,56 | 237 693,79 | 132 356,79 |
| 13 | 5 | 0,53 | 265 321,39 | 140 705,60 |
| 14 | 5 | 0,51 | 296 160,15 | 149 581,00 |

Çizelge 5.8. (devam) Yatırım gelirlerinin net bugünkü değer yöntemiyle hesaplanması

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 15 | 5 | 0,48 | 330 583,31 | 159 016,23 |
| 16 | 5 | 0,46 | 369 007,47 | 169 046,57 |
| 17 | 5 | 0,44 | 411 897,66 | 179 709,59 |
| 18 | 5 | 0,42 | 459 772,96 | 191 045,16 |
| 19 | 5 | 0,40 | 513 212,77 | 203 095,72 |
| 20 | 5 | 0,38 | 572 863,84 | 215 906,36 |
| 21 | 5 | 0,36 | 639 448,10 | 229 525,01 |
| 22 | 5 | 0,34 | 713 771,36 | 244 002,65 |
| 23 | 5 | 0,33 | 796 733,11 | 259 393,44 |
| 24 | 5 | 0,31 | 889 337,37 | 275 754,98 |
| 25 | 5 | 0,30 | 992 704,84 | 293 148,49 |
| 26 | 5 | 0,28 | 1 108 086,51 | 311 639,06 |
| 27 | 5 | 0,27 | 1 236 878,72 | 331 295,89 |
| 28 | 5 | 0,26 | 1 380 640,13 | 352 192,51 |
| 29 | 5 | 0,24 | 1 541 110,55 | 374 407,14 |
| 30 | 5 | 0,23 | 1 840 231,97 | 425 788,18 |
| TOPLAM GELİRİN NET BUGÜNKÜ DEĞERİ | | | | 6 861 538,74 |

Çizelge 5.9. Yatırım giderlerinin net bugünkü değer yöntemiyle hesaplanması

| Yıl | Faiz Oranı (%) | Bugünkü Değer Faktörü | Toplam Gider ($) | NBD ($) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | - | 1,00 | 1 204 711,97 | 1 204 711,97 |
| 1 | 7 | 0,93 | 16 972,72 | 15 862,36 |
| 2 | 7 | 0,87 | 14 569,14 | 12 725,25 |
| 3 | 7 | 0,82 | 11 994,81 | 9 791,34 |
| 4 | 7 | 0,76 | 20 024,41 | 15 276,53 |
| 5 | 8,71 | 0,66 | 18 070,92 | 11 902,35 |
| 6 | 8 | 0,63 | 20 431,81 | 12 875,51 |
| 7 | 4,60 | 0,73 | 21 309,61 | 15 554,42 |
| 8 | 4 | 0,73 | 19 662,23 | 14 367,00 |
| 9 | 9,60 | 0,44 | 46 871,67 | 20 540,71 |
| 10 | 13,50 | 0,28 | 78 791,83 | 22 208,67 |
| 11 | 9 | 0,39 | 73 513,28 | 28 488,81 |
| 12 | 5 | 0,56 | 102 920,68 | 57 310,09 |
| 13 | 5 | 0,53 | 114 452,16 | 60 696,42 |
| 14 | 5 | 0,51 | 127 298,78 | 64 294,53 |
| 15 | 5 | 0,48 | 141 611,85 | 68 117,72 |
| 16 | 5 | 0,46 | 157 560,19 | 72 180,14 |
| 17 | 5 | 0,44 | 175 332,13 | 76 496,83 |
| 18 | 5 | 0,42 | 195 137,75 | 81 083,77 |
| 19 | 5 | 0,40 | 217 211,45 | 85 957,95 |
| 20 | 5 | 0,38 | 241 814,73 | 91 137,43 |
| 21 | 5 | 0,36 | 269 239,36 | 96 641,41 |
| 22 | 5 | 0,34 | 299 810,87 | 102 490,31 |
| 23 | 5 | 0,33 | 333 892,45 | 108 705,80 |
| 24 | 5 | 0,31 | 371 889,36 | 115 310,96 |
| 25 | 5 | 0,30 | 414 253,77 | 122 330,29 |
| 26 | 5 | 0,28 | 461 490,20 | 129 789,84 |
| 27 | 5 | 0,27 | 514 161,61 | 137 717,32 |
| 28 | 5 | 0,26 | 572 896,18 | 146 142,17 |
| 29 | 5 | 0,24 | 638 394,83 | 155 095,67 |
| 30 | 5 | 0,23 | 711 439,70 | 164 611,10 |
| GİDERLERİN NET BUGÜNKÜ TOPLAM DEĞERİ | | | | 3 320 414,66 |

Yatırımın gelir ve giderlerinin net bugünkü değerleri birbirileri ile karşılaştırıldığında projenin 3 541 124,08 $ kar elde edeceği görülmektedir. Net bugünkü değer yöntemine göre bu yatırım, karlı bir yatırım olarak değerlendirilir.

### 5.3.2. Yatırımın iç karlılık oranının hesaplanması

Yatırımın ekonomik değerlendirmesi çerçevesinde, iç karlılık oranı Eş. (4.2) temel alınarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamadaki temel amaç, net bugünkü değeri sıfıra eşitleyen iskonto

oranını belirlemektir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda, yatırımın net bugünkü değerini sıfıra en yakın değere getiren iskonto oranı %24,402299 olarak bulunmuştur. Çizelge 5.10.'da, iç karlılık oranına ilişkin detaylı hesaplama bulunmaktadır.

Çizelge 5.10. Yatırımın iç karlılık oranının hesaplanması

| Yıl | Faiz Oranı (%) | Bugünkü Değer Faktörü | Toplam Gelir ($) | Toplam Gider ($) | Gelir NBD ($) | Gider NBD ($) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | - | 1,00 | 91 446,36 | 1 204 711,97 | 91 446,36 | 1 204 710,97 |
| 1 | 0,244 | 0,80 | 296 124,06 | 16 972,72 | 238 028,01 | 13 642,88 |
| 2 | 0,244 | 0,65 | 296 443,88 | 14 569,14 | 191 536,37 | 9 413,32 |
| 3 | 0,244 | 0,52 | 318 872,28 | 11 994,81 | 165 607,47 | 6 229,55 |
| 4 | 0,244 | 0,42 | 302 753,26 | 20 024,41 | 126 388,15 | 8 359,44 |
| 5 | 0,244 | 0,34 | 293 185,45 | 18 070,92 | 98 381,70 | 6 063,90 |
| 6 | 0,244 | 0,27 | 295 345,90 | 20 431,81 | 79 663,10 | 5 511,03 |
| 7 | 0,244 | 0,22 | 305 408,19 | 21 309,61 | 66 215,76 | 4 620,15 |
| 8 | 0,244 | 0,17 | 291 094,67 | 19 662,23 | 50 730,52 | 3 426,63 |
| 9 | 0,244 | 0,14 | 312 565,89 | 46 871,67 | 43 785,57 | 6 565,98 |
| 10 | 0,244 | 0,11 | 252 578,95 | 78 791,83 | 28 440,74 | 8 872,07 |
| 11 | 0,244 | 0,09 | 212 943,53 | 73 513,28 | 19 273,59 | 6 653,71 |
| 12 | 0,244 | 0,07 | 237 693,79 | 102 920,68 | 17 293,00 | 7 487,82 |
| 13 | 0,244 | 0,06 | 265 321,39 | 114 452,16 | 15 515,98 | 6 693,16 |
| 14 | 0,244 | 0,05 | 296 160,15 | 127 298,78 | 13 921,56 | 5 983,92 |
| 15 | 0,244 | 0,04 | 330 583,31 | 141 611,85 | 12 490,98 | 5 350,76 |
| 16 | 0,244 | 0,03 | 369 007,47 | 157 560,19 | 11 207,41 | 4 785,38 |
| 17 | 0,244 | 0,02 | 411 897,66 | 175 332,13 | 10 055,73 | 4 280,42 |
| 18 | 0,244 | 0,02 | 459 772,96 | 195 137,75 | 9 022,40 | 3 829,31 |
| 19 | 0,244 | 0,02 | 513 212,77 | 217 211,45 | 8 095,26 | 3 426,23 |
| 20 | 0,244 | 0,01 | 572 863,84 | 241 814,73 | 7 263,38 | 3 065,99 |
| 21 | 0,244 | 0,01 | 639 448,10 | 269 239,36 | 6 516,99 | 2 743,98 |
| 22 | 0,244 | 0,01 | 713 771,36 | 299 810,87 | 5 847,30 | 2 456,09 |
| 23 | 0,244 | 0,01 | 796 733,11 | 333 892,45 | 5 246,43 | 2 198,66 |
| 24 | 0,244 | 0,01 | 889 337,37 | 371 889,36 | 4 707,30 | 1 968,43 |
| 25 | 0,244 | 0,00 | 992 704,84 | 414 253,77 | 4 223,57 | 1 762,49 |
| 26 | 0,244 | 0,00 | 1 108 086,51 | 461 490,20 | 3 789,55 | 1 578,25 |
| 27 | 0,244 | 0,00 | 1 236 878,72 | 514 161,61 | 3 400,13 | 1 413,41 |
| 28 | 0,244 | 0,00 | 1 380 640,13 | 572 896,18 | 3 050,73 | 1 265,90 |
| 29 | 0,244 | 0,00 | 1 541 110,55 | 638 394,83 | 2 737,23 | 1 133,88 |
| 30 | 0,244 | 0,00 | 1 840 231,97 | 711 439,70 | 2 627,27 | 1 015,71 |
| TOPLAM | | | | | 1 346 509,53 | 1 346 509,39 |

Yapılan analiz sonucunda hesaplanan %24,402299'luk iç karlılık oranı, gerçekleşen düşük faiz oranına rağmen faizi yükseltip riskin arttırılmasına rağmen yatırımın, yatırımcının

sermaye maliyetini fazlasıyla karşıladığını ve ekonomik açıdan cazip bir getiri sunduğunu göstermektedir.

### 5.3.3. Yatırımın seviyelendirilmiş enerji maliyetinin (LCOE) hesaplanması

Bu başlıkta, Çizelge 5.11.'deki değerler ile Eş. 4.3 kullanılarak yatırımın seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE) hesaplanmış ve 0,0592 $/kWh olarak bulunmuştur. Seviyelendirilmiş enerji maliyeti hesaplanırken, giderlerin net bugünkü değerleri kullanılmıştır. Çünkü gelecekte yapılacak harcamalar bugünkü değerlerine indirgenmeden hesaba katılırsa; paranın zaman değeri ve zamana bağlı maliyeti göz ardı edilmiş olur. Bu yöntemle, seviyelendirilmiş enerji maliyeti daha doğru ve finansal olarak anlamlı bir şekilde hesaplanmış olur. Enerji üretim projelerinin ekonomik fizibilitesini değerlendirmede yaygın olarak kullanılan bu yöntem, yatırımın maliyet ve getirisini $/kWh başına hesaplayarak sürdürülebilirliği hakkında fikir verir. EPDK tarafından ihtiyaç fazlası güneş enerjisi için birim kWh başına verilen 13,3 dolar/cent'lik değere karşın, 0,0592 $/kWh'lık LCOE değeri de santral yatırımının karlı olduğuna ilişkin bir başka göstergedir.

Çizelge 5.11. Yatırımın seviyelendirilmiş enerji maliyetinin hesaplanması

| | | |
|---|---|---|
| Giderler ($) | İlk Yatırım Maliyeti | 1 200 000,00 |
| | SKF Bedeli | 1 993 830,19 |
| | İşletme Giderleri | 109 429,95 |
| | Tüketim Bedeli | 9 515,41 |
| | Sistem İşletme Bedeli | 7 639,10 |
| | Toplam | 3 320 414,65 |
| Üretilen Elektrik (kWh) | | 56 016 485,59 |

$$LCOE = \frac{1\,200\,000\,\$ + 2\,120\,414{,}65\,\$}{56\,016\,485{,}59\,kWh} = 0{,}0592\,\$/kWh$$

### 5.3.4. Yatırımın geri ödeme süresinin (GÖS) hesaplanması

Yatırımın geri ödeme süresi Eş. 4.4 kullanılarak hesaplanmış ve ilk yatırım maliyeti ile yıllık masrafların bugünkü değerleri toplamının, her yıl elde edilen gelirlerin toplamına eşit olduğu ve yatırımın kara geçtiği dönem, 4,77 yıl olarak bulunmuştur. Santralin kalan 25,23 yıllık ömründe elde edilen gelirlerle birlikte, yatırım ekonomik açıdan oldukça karlı

görünmektedir. Çizelge 5.12.'de, yatırımın ilk 6 yılındaki gelir ve giderlerinin net bugünkü değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.12. Yatırımın ilk 6 yılındaki gelir ve giderlerinin net bugünkü değerleri

| Yıllar | Gelirlerin Net Bugünkü Değeri ($) | Giderlerin Net Bugünkü Değeri ($) | Net Kar ($) |
|---|---|---|---|
| 0 | 91 446,36 | 1 204 711,97 | - 1 113 265,61 |
| 1 | 276 751,46 | 15 862,36 | - 852 376,51 |
| 2 | 258 925,56 | 12 725,25 | - 606 176,20 |
| 3 | 260 294,77 | 9 791,34 | - 355 672,78 |
| 4 | 230 969,02 | 15 276,53 | - 139 980,29 |
| 5 | 193 105,63 | 11 902,35 | 41 222,99 |
| 6 | 186 118,02 | 12 875,51 | 214 465,50 |

### 5.3.5. Fayda/masraf oranının hesaplanması

Fayda/masraf oranı Eş. 4.5 kullanılarak hesaplanmış ve 2,066 olarak bulunmuştur. Hesaplama, gelir ve giderlerin net bugünkü değerlerine göre yapılmıştır. Fayda/masraf oranı sınır değerin neredeyse 2 katından büyük olduğu için, fayda/masraf oranına göre de santral yatırımının epey karlı olduğu görünmektedir.

### 5.3.6. Yatırım getirisinin hesaplanması

Yatırım getirisi, Eş. 4.6 kullanılarak hesaplanmış ve %2,9509 olarak bulunmuştur. Hesaplamada toplam karın net bugünkü değeri kullanılmıştır. Hesaplanan %2,9509'luk yatırım getirisi oranı, düşük riskli yatırım kategorisinde olsa da, 30 yıllık bir yatırım için karlı bir yatırım olarak değerlendirilmektedir.

# 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji, toplumların ekonomik kalkınma ve teknolojik ilerleme süreçlerinde vazgeçilmez bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Elektrik üretimi ise, endüstriyel büyüme, tarım, ticaret ve genel olarak ulusal kalkınmanın temel taşlarından biridir. Elektrik üretiminin ekonomik ve sosyal kalkınmaya olan katkısı, bu enerjiyi modern yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline getirmiştir. Dünya genelinde ve Türkiye'de hızla artan elektrik talebi, enerji sektöründe daha verimli, sürdürülebilir ve ekonomik çözümler geliştirilmesini zorunlu kılarken, bu gereksinim enerji santrallerinin sayısındaki sürekli artışla kendini göstermektedir. Bu bağlamda, santrallerin maliyet yapıları ve amortisman süreleri, yatırım kararlarının ve sürdürülebilir enerji politikalarının temel unsurlarını oluşturur. Bu çalışmada, Konya ili Sarayönü ilçesinde kurulu olan bir güneş enerji santrali örnek olarak seçilmiş ve santralin maliyet ve amortisman süresini geçmiş ve mevcut yönetmeliklere göre çeşitli ekonomik analiz yöntemleri ışığında irdelenmiştir. Yapılan analizler neticesinde, santralin 30 yıllık ekonomik ömründe yıllık ortalama enerji üretiminin yaklaşık 1,8 milyon kWh, yıllık ortalama birim enerji maliyetinin ise 0,113 dolar/cent olarak gerçekleştiği görülmektedir. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği kapsamında yer alan mahsuplaşma düzenlemeleri sayesinde, santralin ihtiyaç fazlası enerji satışından yılda ortalama 576 265 $ gelir elde ettiği hesaplanmıştır.

Santralin tüm gelir ve giderleri net bugünkü değer hesabı yapılarak karşılaştırıldıklarında, yatırımın 3 541 124 $ kar getireceği hesaplanmıştır. 30 yıllık ekonomik ömürde gerçekleşen geri ödeme süresi 4,77 yıl olarak hesaplanmıştır. Ekonomik ömür dikkate alındığında bu süre oldukça düşüktür ve kalan ömürde üreticiye kar sağlayacaktır. Yatırımın %24,40'lık iç karlılık oranı, gerçekleşen düşük faiz oranına rağmen faizi yükseltip riskin arttırılmasına karşın yatırımın, yatırımcının sermaye maliyetini fazlasıyla karşıladığını ve ekonomik açıdan cazip bir getiri sunduğunu göstermektedir. Elektrik üretim santrallerinin yatırım aşamasında göz önünde bulundurulan bir diğer önemli parametre olan LCOE, 0,0592 kWh/$ olarak hesaplanmış olup, ilk 10 yıl boyunca sağlanan birim YEKDEM desteğinin 0,133 dolar/cent olduğu göz önünde bulundurulduğunda, yatırımın yüksek derecede karlı olduğu bir kez daha doğrulanmıştır.

Güneş enerji santrallerinin maliyetlerini kısa sürelerde karşılayabilmesi, teşvik mekanizmalarının varlığıyla mümkün hale gelirken, mahsuplaşma sistemleri ve enerji satış fiyatlarının yatırımcıya sağladığı doğrudan katkılar, bu sistemlerin ekonomik uygulanabilirliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Ancak, teşvik mekanizmalarının sürdürülebilirliği konusundaki belirsizliklerin devam ettiği gözlemlenmektedir. Bu belirsizlik, bazı yatırımcıların uzun vadeli projelere yönelik çekinceler taşımasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, teşviklerin sürekliliğinin sağlanması ve güven ortamının güçlendirilmesi, güneş enerjisi sektörünün sağlıklı bir şekilde gelişimi açısından kritik bir öneme sahiptir. Bunun yanı sıra, yüksek başlangıç maliyetleri, finansmana erişimi zorlaştıran temel sorunlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bu maliyetlerin azaltılabilmesi için düşük faizli kredi programlarının devreye alınması, uluslararası finansman kaynaklarının etkin bir şekilde kullanılması ve kamu-özel sektör iş birliğine dayalı alternatif finansman modellerinin geliştirilmesi büyük bir gereklilik arz etmektedir.

10 Mayıs 2019 tarihinden sonra alınan çağrı mektuplarıyla kurulan santrallerde, mahsup türünün aylık mahsuplaşmaya dönüştürülmesi ve ihtiyaç fazlası enerji ödemelerinin, tabi olunan tarife grubunun perakende tek zamanlı aktif enerji bedeli üzerinden TL bazında gerçekleştirilmesi, yatırım dinamiklerinde önemli değişikliklere yol açmıştır. Ek olarak, 11 Ağustos 2022 tarihinde yayımlanan Yönetmelik değişikliğiyle getirilen satış kotası uygulaması, santral yatırımlarının geri dönüş sürelerini bir miktar uzatmıştır. Fakat bu süre çok uzun olmayıp, yatırımcının ihtiyaç fazlası enerjisinden alacağı bedel, saatlik mahsuplaşmada dolar/cent bazında alınan bedele göre yatırımcıya tüketiminin mahsuplaşan aktif enerji bedeli üzerinden pasif olarak ödeniyor gibi düşünülebilir. Hesaplamalar da, 5346 sayılı Kanunun gereğince, 10 yılı dolan santralin ihtiyaç fazlası enerji ödemesi perakende tek zamanlı aktif enerji bedeli üzerinden yapılmıştır.

Fotovoltaik sistemlerde kullanılan teknolojilerin geliştirilmesi ve yeni nesil hücrelerin yaygınlaşması, güneş enerjisinden elde edilen verimi artıracak önemli bir adımdır. Özellikle perovskit hücreler gibi yenilikçi teknolojilerin enerji üretiminde daha etkili bir şekilde kullanılması, enerji maliyetlerini düşürerek santral yatırımının geri dönüş süresini azaltabilir. Bunun yanı sıra, enerji depolama sistemlerine yönelik yatırımların teşvik edilmesi, güneş enerjisinin sürekli bir kaynak olarak kullanılmasını mümkün kılacaktır.

Şebekeden bağımsız sistemlerin yaygınlaşması, enerji arz güvenliğini desteklerken, bu sistemlerin ekonomik verimliliğini artıracak politikaların geliştirilmesi gerekmektedir. Örneğin tarımsal faaliyet yürüten elektrik üreticileri, mevcut Yönetmelikler çerçevesinde santral sahası ekin arazileriyle aynı yerde olamadığından dolayı yüksek SKF'lerle karşı karşıya kalmaktadırlar. Tarım GES'lerin Türkiye'de örneklerini görmeye başladığımız şu günlerde tarımsal faaliyet yürüten üreticilere uygun bir Yönetmelik değişikliğine gidilmesi, yalnızca yatırım maliyetlerini düşürmekle kalmayacak; aynı zamanda bölgesel ekonomik kalkınmayı ve yerel iş gücünü destekleyecektir.

Santral 30 yıllık ekonomik ömrü boyunca 56 016 485,19 kWh elektrik üretirken, 24 682,75 ton CO2 emisyonuna da engel olacaktır [56]. Santralin toplam enerji üretimi, Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik'te yayımlanan çevrim katsayılarına göre 4 817,42 ton eşdeğer petrole eşittir. Bu miktarda bir enerjiyi üretmek için fosil yakıtla çalışan bir santralde 24 087,01 ton santral linyiti, 5 874,43 bin m3 doğalgaz veya 4 722,96 ton motorin yakılması gerekmektedir [57].

# KAYNAKLAR


1. George, T. and Pothiyadath, R. (2022). Case study-power sector adjusting to new normal global environment. *Effective Public Administration Strategies for Global "New Normal"*, 51-61.

2. Irshad, S. Ranjan, S.,Kaur, M. and Gulhane, M. (2024). *Prototype specification for a speed breaker to generate electricity.* 11th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (ICRITO): Trends and Future Directions, Noida, 54-57.

3. Jiang, T., Costa, L., Tordjman, P. and Tang, T. (2017). A microgrid test bed in singapore: an electrification project for affordable access to electricity with optimal asset management. *IEEE Electrification Magazine*, 5(2), 74-82.

4. Gates, J.E. (2014). *Peak Oil, Economic Growth, and Wildlife Conservation,* Berlin: Springer, 3-27.

5. Mohan, J.R., Rao, L.M., Rao, A.P.V.A. Singh, C.S. (2018). The upcoming energy revolution - Green energy. *International Conference on Renewable Energy Research and Education.* 1992(1), 40-41.

6. Ray, P. (2019). Renewable energy and sustainability. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 21(3), 1517-1533.

7. İzgeç, M. M. (2018). *Yenilenebilir kaynaklı üretim santrallerinin elektrik piyasası üzerindeki etkileri ve sürdürülebilir destek mekanizmaları için enerji modeli geliştirilmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-2.

8. İnternet: Solar radiation outside the Earth's atmosphere. (2018). URL: https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/solar-radiation-outside-the-earths-atmosphere Son Erişim Tarihi: 12.09.2024

9. Lewis, N. S. and Nocera, D. G. (2006). Powering the planet: Chemical challenges in solar energy utilization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(43), 15729–15735.

10. Bai, H., Liu, C., Majstorovic, D., and Gao, F. (2023). *Real-time simulation in power electronics*. (1. Baskı). Londra: Elsevier, 73–93.

11. Kandeal, A. W., Thakur, A. K., Elkadeem, M. R., Elmorshedy, M. F., Ullah, Z., Sathyamurthy, R., & Sharshir, S. W. (2020). Photovoltaics performance improvement using different cooling methodologies: A state-of-art review. *Journal of Cleaner Production*, 273, 122772.

12. Abdin, Z., Alim, M. A., Saidur, R., Islam, M. R., Rashmi, W., Mekhilef, S., and Wadi, A. (2013). Solar energy harvesting with the application of nanotechnology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 837–852.

13. Fornari, R. (2015). *Handbook of Crystal Growth.* (2. Baskı). Amsterdam: Elsevier, 1-49.

14. İnternet: CIGS solar cell technology. (2022). URL: https://tr.dsisolar.com/info/cigs-solar-cell-technology-32873984.html Son Erişim Tarihi: 15.09.2024

15. Kumar, N. S., Naidu, K. C. B. (2021). A review on perovskite solar cells (PSCs), materials, and applications. *Journal of Materials Science*, 7(5), 940–956.

16. Conrado, L. S., Pulido, A. R. and Calderón, G. (2017). Thermal performance of parabolic trough solar collectors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 1345-1359.

17. Zou, B., Dong, J. K., Yao, Y. and Jiang, Y. Q. (2017). A detailed study on the optical performance of parabolic trough solar collectors with Monte Carlo Ray Tracing method based on theoretical analysis. *Solar Energy*, 3(147), 189-201.

18. İnternet: SunBeam MS platform (2024). URL: https://static.wixstatic.com/media/SunBeamMSPlatform_edited.jpg Son Erişim Tarihi: 28.09.2024

19. Crabtree, G. W. and Lewis, N. S. (2007). Solar energy conversion. *Physics Today*, 60(3), 37-42.

20. Tesfay, A. H., Kahsay, M. B. and Nydal, O. J. (2014). Design and development of solar thermal injera baking: Steam based direct baking. *Energy Procedia*, 1(57), 2946-2955.

21. Kennedy, C. E., Terwilliger, K. (2005). Optical durability of candidate solar reflectors. *Journal of Solar Energy Engineering*, 127(2), 262-269.

22. Schissel, P., Kennedy, C., Goggin, R. (1995). Role of inorganic oxide interlayers in improving the adhesion of sputtered silver film on PMMA. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 9(3), 413-424.

23. İnternet: U.S. Department of Energy. (2019). URL: https://www.energy.gov/sites/default/files/2020/09/f78/19881.JPG Son Erişim Tarihi: 28.09.2024

24. İnternet: Yılsan Holding. (2022). URL: http://yilsanholding.com/tr-TR/greenway/313608 Son Erişim Tarihi: 28.09.2024

25. Wang, Z. (2019). *Design of solar thermal power plants.* (1. Baskı). Londra: Academic Press, 1-46.

26. Qi, X., Wang, J., Królczyk, G., Gardoni, P. and Li, Z. (2022, June). Sustainability analysis of a hybrid renewable power system with battery storage for islands application. *Journal of Energy Storage*, 50(104682), 2.

27. İnternet: Öztürk, İ. ve Aksoy, İ. (2019). Solar kablo sistemleri, güncel standartlar, malzeme seçimi, uygulamadaki problemler ve çözüm önerileri, EMO Bilimsel Dergi, 9(1). URL: https://www.emo.org.tr/ekler/279810276b9648b_ek.pdf Son Erişim Tarihi: 15.09.2024

28. İnternet: Hazır Enerji. (2022). 4mm kırmızı solar kablo. URL: https://hazirenerji.com/4785-large_default/4mm-kirmizi-solar-kablo.jpg Son Erişim Tarihi: 18.09.2024

29. İnternet: Ermtech. (2023). Tekli MC4 konnektör solar güneş paneli bağlantı erkek dişi. URL: https://ermtech.com.tr/magaza/wp-content/uploads/sites/2/2023/11/tekli-mc4-konnektor-solar-gunes-paneli-baglanti-erkek-disi_64fd09d95d9d9.jpeg Son Erişim Tarihi: 18.09.2024

30. Thiviyanathan, V. A., Ker, P. J., Leong, Y. S., Abdullah, F., Ismail, A. and Jamaludin, M. Z. (2022). Power transformer insulation system: A review on the reactions, fault detection, challenges and future prospects. *Alexandria Engineering Journal,* 61(10), 7697-7713.

31. Good, J., Smith, P. (2019). *Solar Power Systems: Design, Economics, and Environmental Impact*. Berlin: Springer, 105-135.

32. Kalogirou, S. A. (2014). Solar Energy Engineering: Processes and Systems. *Journal of Power and Energy Engineering*, 1(2), 223-260.

33. İnternet: EPDK. (2013). *Elektrik piyasasında lisanssız elektrik üretimi.* URL: https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-92/elektriklisanssiz-uretim Son Erişim Tarihi: 05.10.2024

34. İnternet: T.C. Resmî Gazete Sayı: 27774. (2010). *Elektrik piyasasında lisanssız elektrik üretimine ilişkin yönetmelik (Arşiv).* URL: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/12/20101203-3.htm Son Erişim Tarihi: 05.10.2024

35. İnternet: T.C. Resmî Gazete Sayı: 28001. (2011). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının belgelenmesi ve desteklenmesine ilişkin yönetmelik.* URL: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/07/20110721-6.htm Son Erişim Tarihi: 06.10.2024

36. İnternet: T.C. Resmî Gazete Sayı: 28001. (2011). *Elektrik piyasasında lisanssız elektrik üretimine ilişkin yönetmelik (Arşiv).* URL: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/07/20110721-7.htm Son Erişim Tarihi: 06.10.2024

37. İnternet: EPDK. (2016). *Elektrik piyasası duyurular listesi.* URL: https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-0-1161/duyurular Son Erişim Tarihi: 10.10.2024

38. İnternet: T.C. Resmî Gazete Sayı: 30772. (2019). *Elektrik piyasasında lisanssız elektrik üretim yönetmeliği (Arşiv).* URL: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190512-1.htm Son Erişim Tarihi: 09.11.2024

39. İnternet: T.C. Resmî Gazete Sayı: 31479. (2021). *Elektrik piyasası lisans yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelik.* URL: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/05/20210509-4.htm Son Erişim Tarihi: 09.11.2024

40. İnternet: T.C. Resmî Gazete Sayı: 31920. (2022). *EPDK Kurul Kararı.* URL: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/08/20220811-3.pdf Son Erişim Tarihi: 09.11.2024

41. İnternet: T.C. Resmî Gazete Sayı: 32231. (2023). *Enerji Piyasası Düzenleme Kurulunun 22/06/2023 tarihli ve 11917, 11923, 11928, 11929 ve 11930 sayılı kararları: Farklı dağıtım ya da görevli tedarik şirketi bölgesinde yer alan üretim ve tüketim tesislerinin mahsuplaşma işlemlerine ilişkin usul ve esaslar.* URL: https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/06/20230624-6.pdf Son Erişim Tarihi: 11.11.2024

42. İnternet: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2021). *Konya iline ait genel istatistik verileri.* URL: https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-veilceler-istatistik.aspx?m=KONYA Son Erişim Tarihi: 12.11.2024

43. İnternet: EPDK. (2022). *Yeni lisanssız elektrik üretimi yönetmeliği.* URL: https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/4-12766/11082022-tarihli-lisanssiz-elektrik-uretim-yone Son Erişim Tarihi: 12.11.2024

44. İnternet: EPDK. (2013). *Elektrik piyasasında lisanssız elektrik üretimi.* URL: https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-92/elektriklisanssiz-uretim Son Erişim Tarihi: 12.11.2024

45. İnternet: Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası. (2024). *EVDS - Serie Market.* URL: https://evds2.tcmb.gov.tr/index.php?/evds/serieMarket, Son Erişim Tarihi: 07.11.2024

46. Dubey, R., Joshi, D. and Bansal, R. C. (2016). Optimization of solar photovoltaic plant and economic analysis. *Electric Power Components and Systems*, 44(18), 2025-2035.

47. Musi, R. (2017). Techno-economic analysis of concentrated solar power plants in terms of levelized cost of electricity. *AIP Conference Proceedings*, 160018(1), 7-8.

48. Abdelhady, S. (2021). Performance and cost evaluation of solar dish power plant: Sensitivity analysis of levelized cost of electricity (LCOE) and net present value (NPV). *Renewable Energy*, 168(1), 332-342.

49. Mellichamp, D. A. (2017). Internal rate of return: Good and bad features, and a new way of interpreting the historic measure. *Computers & Chemical Engineering*, 106(1), 396-406.

50. Yaniktepe, B., Kara, O. and Ozalp, C. (2017). Technoeconomic evaluation for an installed small-scale photovoltaic power plant. *International Journal of Photoenergy*, 1-7.

51. Yıldırım, S. G. (2023). *Lisanssız güneş enerjisi santrallerinde şebeke satış kısıtlamalarının kurulu güç boyutlandırması ve tüketim profilleri üzerinden finansal analizi.* Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 57.

52. Rashwan, S. S., Shaaban, A. M., Al-Suliman, F. (2017). A comparative study of a small-scale solar PV power plant in Saudi Arabia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80(2), 313–318.

53. İnternet: T.C. Resmî Gazete Sayı: 25819. (2005). 5346 sayılı *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun.* URL: https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.5346.pdf Son Erişim Tarihi: 13.11.2024

54. İnternet: T.C. Resmî Gazete Sayı: 25819 (2005). *5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun.* URL: https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.5346.pdf Son Erişim Tarihi: 13.11.2024

55. İnternet: Punto Energia. (2023). *Three-phase string inverter 12kW Huawei SUN2000.* URL: https://www.puntoenergiashop.it/39531-large_default/three-phase-string-inverter-12kw-huawei-sun2000-12ktl-m5-solar-photovoltaic.jpg Son Erişim Tarihi: 24.09.2024

56. Şen, M., Özcan, M. (2023). Technoeconomic analysis of 1 MWp grid-connected solar power plant in Konya (Türkiye). *Technical Gazette*, 30(2), 385–394.

57. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2020). *Enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasına dair yönetmelik.* Ankara: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 13-14.



*Gazili olmak ayrıcalıktır*